

**PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK *CRUMB RUBBER*
MENGUNAKAN FILLER ABU SEKAM PADI PADA
ASPHALT CONCRETE - WEARING COURSE DI TINJAU
DARI KARAKTERISTIK *MARSHALL***

SKRIPSI

Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana

Oleh :

REYNALDI DARMAWAN SENOLINGGI

13.21.100



JURUSAN TEKNIK SIPIL – S1

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2018**

LEMBAR PERSETUJUAN

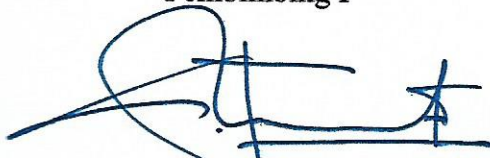
**PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK CRUMB RUBBER
MENGUNAKAN FILLER ABU SEKAM PADI PADA ASPHALT
CONCRETE – WEARING COURSE DITINJAU DARI KARAKTERISIK
MARSHALL**

Oleh:
Reynaldi Darmawan Senolinggi
NIM 13.21.100

Telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan
Pada tanggal 07 Februari 2018

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Pembimbing I



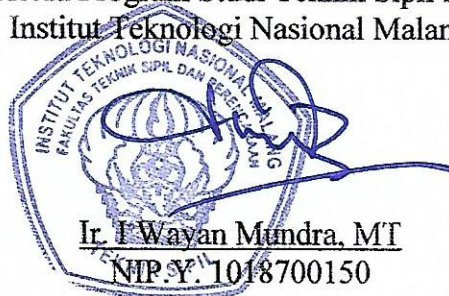
Ir. Eding Iskak Imananto, MT
NIP. 196605061993031004

Pembimbing II



Mohammad Erfan, ST, MT
NIP.Y. 1031500508

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1
Institut Teknologi Nasional Malang



Ir. I Wayan Mandra, MT
NIP.Y. 1018700150

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK CRUMB RUBBER
MENGUNAKAN FILLER ABU SEKAM PADI PADA ASPHALT
CONCRETE – WEARING COURSE DITINJAU DARI KARAKTERISIK
MARSHALL**

**Skripsi Ini Telah Dipertahankan Di Depan Dosen Penguji Ujian Skripsi Jenjang Strata
(S-1) Pada Tanggal 07 Februari 2018 Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu
Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Sipil S-1**

**Disusun oleh :
Reynaldi Darmawan Senolinggi
NIM 14.21.039**


Disahkan oleh :

Ketua Jurusan Teknik Sipil S-1



**Ir. I Wayan Mundra, MT
NIP.Y. 1018700150**

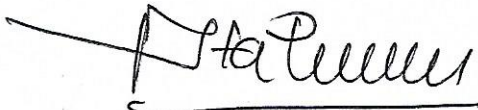
Sekretaris Jurusan



**Ir. Munasih, MT
NIP.Y.1028800187**

Anggota Penguji

Dosen Penguji I



**Ir. Togi H. Nainggolan, MS
NIP.Y. 1018300052**

Dosen Penguji II



**Ir. A Agus Santosa, MT
NIP.Y. 1018700155**

**PROGRAM TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2018**

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR/SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Reynaldi Darmawan Senolinggi
NIM : 13.21.100
Jurusan : Teknik Sipil S-1
Fakultas : Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan bahwa Skripsi saya yang berjudul :

PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK CRUMB RUBBER MENGGUNAKAN FILLER ABU SEKAM PADI PADA ASPHALT CONCRETE – WEARING COURSE DITINJAU DARI KARAKTERISIK MARSHALL

Adalah sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah SKRIPSI/TA ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah SKRIPSI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia SKRIPSI ini digugurkan dan gelar akademik yang saya peroleh (SARJANA) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, ⁰⁷..... Februari 2018

Yang membuat pernyataan



REYNALDI D. SENOLINGGI

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulisan skripsi ini merupakan salah satu persyaratan akademik dalam mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil pada Jurusan Teknik Sipil , Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan di Institut Teknologi Nasional Malang.

Penulis Menyadari bahwa terwujudnya skripsi ini tidak terlepas dari bimbingan, arahan serta bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu tidak berlebihan kiranya apabila pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Nusa Sebayang, MT., Selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Agus Santos, MT., Selaku Mantan Ketua Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang
3. Bapak Ir. I Wayan Mundra, MT., Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang
4. Bapak Ir. Eding Iskak Imananto, MT., Selaku Dosen Pembimbing I
5. Bapak Muhammad Erfan, MT., Selaku Kepala Laboratorium Beton di Institut Nasional Malang Serta Dosen Pembimbing II

Dalam Penyusunan skripsi ini, masih banyak terdapat kekurangan yang saya sebagai penulis nilai masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun oleh semua pihak demi menyempurnakan skripsi ini.

Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan dan kemajuan bangsa ini.

Malang, Februari 2018

Penulis

Reynaldi D. Senolinggi

ABSTRAK

STUDI PENELITIAN PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK *CRUMB RUBBER* MENGGUNAKAN FILLER ABU SEKAM PADI PADA LAPIS PERKERASAN ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE DI TINJAU DARI KARAKTERISTIK *MARSHALL* (Reynaldi D. Senolinggi 13.21.100, tahun 2018), Bidang Peminatan Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang

Tingginya pertumbuhan volume lalu lintas menyebabkan kemungkinan terjadi kerusakan lapisan jalan akibat *overload* juga meningkat, untuk itu muncul pemikiran untuk mencariantisipasi sekaligus solusi untuk masalah ini dengan memperbaiki kualitas lapis perkerasan. Konstruksi perkerasan AC (*Asphalt Concrete*)/ Laston, merupakan konstuksi jalan yang sangat di sarankan untuk di gunakan di indonesia mengingat indonesia memiliki iklim tropis yang memiliki suhu yang relatif tinggi. Di sisi lain juga peneliti melihat banyak material limbah yang di anggap berpotensi untuk di gunakan sebagai bahan *additive* dan di yakini dapat meningkatkan stabilitas maupun durabilitas campur perkerasan.

Pada penelitian ini akan di gunakan *crumb rubber* sebagai bahan *additive* dan abu sekam sebagai *filler* pengganti dari abu batu, yang mengacu pada Spesifikasi Umum dari Bina Marga 2010 (revisi 3). Metode yang di pakai yaitu dengan mencari KAO terlebih dahulu dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% , Setelah mendapatkan KAO dari perhitungan karakteristik *marshall*, maka di lakukan pencampuran *hotmix* kembali dengan memakai KAO dan penambahan variasi serbuk *crumb rubber* sebesar 2% ,4% ,6% ,8% , 10%, dan 0% sebagai pembanding.

Dari hasil pengujian hasil campuran dengan *crumb rubber* optimum 5,73%, menunjukkan bahwa penambahan *crumb rubber* dapat memenuhi spesifikasi umum dari bina marga 2010 (revisi 3). Adapun nilai yang di dapatkan dari uji *marshall* antara campuran dengan dan tanpa *crumb rubber* adalah ; Flow (dengan = 2,93mm, tanpa = 3,23mm), VIM (dengan = 3,526%, tanpa = 3,629%), VMA (dengan = 17,28%, tanpa = 17,32%), Stabilitas (dengan = 1067,522kg, tanpa = 883,47kg), MQ (dengan = 347,776kg/mm, tanpa = 300,77kg/mm), dan VFA (dengan = 79,525%, tanpa = 79,04%), dari penjelasan di atas dapat di tarik kesimpulan bahwa penambahan *crumb rubber* dapat menaikkan nilai Stabilitas, MQ, dan VFA, namun menurunkan nilai Flow, VIM, dan VMA.

Kata kunci : *Filler*, *Crumb Rubber*, Karakteristik *Marshall*, dan Kadar Aspal Optimum

Dengan garis besar penambahan *crumb rubber* menurunkan nilai Flow(2,73mm dari 3,23mm yang di syaratkan Bina Marga min 3mm), VIM (3,471% dari 3,629% yang di syaratkan BM min 3% dan max 5%) , dan VMA (17,22% dari 17,32% yang di syaratkan BM min 15%), namun menaikkan nilai Stabilitas (1070,4kg dari 883,47kg yang di BM syaratkan min 800kg), MQ (376,47kg/mm dari 300,77kg/mm yang di syaratkan BM min 250kg/mm), VFA (79,79% dari 79,04% dan yang di syaratkan BM 65%). Dapat di simpulkan, penggunaan *crumb rubber* di tinjau dari karakteristik *marshall*, memiliki pengaruh yang signifikan terlihat dari uji statistik yang di lakukan pada uji korelasi pearsons, dan dapat di gunakan sebagai bahan *additive* dalam campuran lapis perkerasan karena dapat memenuhi spesifikasi standar yang mengacu pada spesifikasi umum dari bina marga 2010 (revisi 3) dalam memperbaiki kualitas campuran lapis perkerasan AC-WC

Pengaruh *crumb rubber* di lihat dari membandingkan campuran KAO tanpa *crumb rubber* dengan yang memakai *crumb rubber* pada angka maksimum karakteristik *marshall*,

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL

LEMBAR PERSETUJUAN

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi

BAB I : PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	2
1.3. Rumusan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Batasan Masalah	4
1.7. Hipotesis Penelitian	4

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Jalan	7
2.2. Aspal beton	7
2.3. Agregat.....	8
2.4. Serbuk Crumb Rubber	10

2.5. Abu Sekam Padi Sebagai Filler	12
2.6. Penelitian Terdahulu	13
2.7. Statistika.....	15

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian	17
3.2. Peralatan	17
3.3. Bahan	18
3.4. Tahap-Tahap Penelitian	18
3.5. Diagram Alir Penelitian	25

BAB IV : HASIL PENGUJIAN AGREGAT DAN ASPAL

4.1 Hasil Pengujian Agregat.....	26
4.1.1. Pengujian Agregat Terhadap Tumbukan.....	26
4.1.2. Hasil Pengujian Indeks Kepipihan	27
4.1.3. Pengujian Angka Angularitas.....	29
4.1.4. Pengujian Berat Isi Agregat	31
4.1.5. Pengujian Analisa Saringan Kasar, Sedang, dan Halus	33
4.1.6. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	36
4.1.7. Pengujian Keausan Agregat dengan Alat Abrasi <i>Los Angeles</i> ..	43
4.2. Hasil Pengujian Aspal	45
4.2.1. Pengujian Penetrasi Aspal	45
4.2.2. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar	47

4.2.3. Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal	49
4.2.4. Hasil Pengujian Daktilitas Aspal	52
4.2.5. Pengujian Berat Jenis Bitumen Keras	54
4.2.6. Hasil Pengujian Penurunan Berat Minyak dan Aspal	56
4.3. Perencanaan Komposisi Campuran Untuk Variasi Aspal <i>Marshall Test</i> Maksud dan Tujuan Hasil Pengujian	58
4.3.1. Perhitungan Persentase Agregat Dengan Metode Grafis	58
4.4. Komposisi Campuran Untuk Variasi Aspal	60
4.5. <i>Marshall Test</i>	62
4.5.1. Maksud dan Tujuan	62
4.5.2. Hasil Pengujian	62

BAB V : ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Campuran AC-WC Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO).....	64
5.1.1. Data Hasil Test Marshall	64
5.1.2. Perhitungan Interval Kepercayaan	68
5.1.3. Perhitungan Kadar Aspal Optimum (KAO) Menggunakan Program Microsoft Excel	71
5.1.4. Perhitungan Kadar Aspal Optimum (KAO) Menggunakan Metode Regresi.....	78
5.2. Campuran AC-WC dengan Menggunakan KAO 6,144%	79
5.2.1 Data Hasil Test Marshall	79
5.2.2. Perhitungan Interval Kepercayaan	83
5.2.3. Perhitungan Kadar Aspal Optimum (KAO) Menggunakan Program Microsoft Excel.....	87

5.2.4. Perhitungan Kadar Aspal Optimum (KAO) Menggunakan Metode Regresi.....	93
5.2.5. Perhitungan Indeks Perendaman Hasil Uji Marshall Campuran AC-WC Menggunakan kadar Crumb Rubber Optimum 5,73%	95
5.3. Statistika	96
5.3.1. Uji Hipotesis	96
5.3.2. Uji Korelasi (Pearson).....	99
5.3. Pembahasan	101
5.4.1. Perbandingan Campuran AC-WC Menggunakan Variasi Kadar Aspal dengan Filler Abu Sekam Padi	101
5.4.2. Perbandingan Campuran AC-WC Menggunakan Crumb Rubber dan Campuran AC-WC tanpa Crumb Rubber	103
5.5. Pembahasan Hasil Penelitian	104

BAB VI: KESIMPULAN & SARAN

6.1 Kesimpulan.....	107
6.2 Saran.....	109

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Arus pertumbuhan volume lalu lintas yang selalu meningkat di seluruh daerah memberikan dampak pada meningkatnya permintaan prasarana jalan yang baik, dimana kita semua tahu bahwa jalan merupakan sarana yang sangat penting bagi pertumbuhan daerah. Dengan meningkatnya pertumbuhan volume lalu lintas juga menyebabkan rentan terjadinya kerusakan lapis perkerasan pada permukaan jalan yang diakibatkan beban lalu lintas yang berlebih atau yang sering di sebut *overload*.

Sejalan dengan pemikiran di atas, timbul pemikiran dari peneliti untuk memanfaatkan material/bahan limbah yang di anggap berpotensi untuk di manfaatkan, salah satu bahan/material yang memiliki kekuatan tarik yang cukup adalah *Crumb Rubber*. Pemanfaatan *Crumb Rubber* kedalam campuran aspal guna meningkatkan gaya tarik pada lapis permukaan akibat tegangan yang terjadi pada permukaan lapis permukaan terhadap beban lalu lintas.

Penggunaan abu sekam padi juga memungkinkan dalam campuran aspal untuk lapis permukaan. Sifat sementasi dan gradasi butirannya sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan dalam salah satu bahan pembentuk campuran aspal yaitu *filler*. Selama ini *filler* diisi oleh abu batu. Namun karena abu batu sulit didapatkan sebab jumlahnya sedikit, fungsinya sering digantikan oleh bahan lain seperti *fly ash*. Kenyataannya *fly ash* juga mahal karena abu batu bara ini belum banyak tersedia di setiap daerah kecuali daerah-daerah tertentu di Indonesia. Jika abu sekam dapat menggantikan kedua bahan tersebut, maka kendala - kendala tersebut dapat dikurangi disebabkan kelebihan abu sekam yang disamping murah harganya juga mudah mendapatkannya dalam jumlah besar.

Dari uraian diatas maka peneliti mengambil judul **Pengaruh Penambahan *Crumb Rubber* Menggunakan *Filler* Abu Sekam Padi Pada Lapis Perkerasan**

Asphalt Concrete-Wearing Course Ditinjau dari Karakteristik Marshall.
Dengan harapan bahan *crumb rubber* ini dapat menjadi bahan additive yang dapat meningkatkan kualitas maupun kekuatan campuran aspal.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Tingkat kerusakan jalan akibat overload atau kelebihan beban pada lapis perkerasan meningkat sejalan dengan bertambahnya tingkat volume lalu lintas.
2. *Crumb Rubber* yang mempunyai kemampuan tarik yang cukup sehingga diharapkan dapat mengurangi retak dini maupun akibat beban. Penanganan keretakan yang terjadi dapat dicegah, maka masalah terkait dengan upaya meningkatkan kualitas campuran beton aspal dapat teratasi.
3. Abu sekam padi yang mempunyai sifat sementasi dan gradasi butirannya sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan dalam salah satu bahan pembentuk campuran aspal yaitu *filler* menggantikan abu batu yang sulit didapatkan.
4. Membandingkan nilai kinerja *Marshall* pada lapisan perkerasan AC-WC menggunakan *filler* abu sekam padi dengan penambahan serat ijuk 2% , 4% , 6% , 8%, 10%, dan 0% sebagai pembanding netral.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan beberapa uraian permasalahan yang telah diidentifikasi diatas, maka dirumuskan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh *crumb rubber* pada lapisan perkerasan jalan AC-WC yang menggunakan *filler* abu sekam padi?
2. Berapa kadar serbuk *crumb rubber* optimum?
3. Apakah dengan penggunaan *crumb rubber* dapat menaikkan karakteristik aspal dari yang di syaratkan Bina Marga?
4. Apakah dengan penambahan *crumb rubber* dapat meningkatkan nilai indeks perendaman 24 jam?.

1.4 Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan penelitian terhadap penggunaan Crumb Rubber dengan *filler* abu sekam padi dalam campuran lapisan perkerasan AC-WC upaya peningkatan ketahanan guna mengurangi terjadinya keretakan pada lapisan perkerasan AC-WC akibat pengaruh beban lalu lintas yang berlebih (*over loading*), temperatur dan cuaca, serta memanfaatkan abu sekam padi yang dapat menggantikan abu batu (*filler* biasanya) yang sulit didapatkan.

Adapun tujuan dari penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui apakah ada perbedaan nilai karakteristik Marshall pada lapisan perkerasan AC-WC menggunakan *filler* abu sekam padi dengan penambahan Crumb Rubber 2%, 4%, 6%, 8%, 10%.
2. Mengetahui angka kadar serbuk *crumb rubber* optimum
3. Membandingkan karakteristik Marshall dari penelitian tersebut dengan **Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 2010 Perkerasan Aspal.**
4. Mengetahui indeks perendaman 24 jam dari campuran tersebut

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Untuk peneliti
Sebagai salah satu kesempatan untuk menerapkan pengetahuan dibidang teknologi, khususnya pada teknologi perkerasan jalan, sehingga dapat memperluas wawasan keilmuan. Memberikan masukan tentang pengaruh variasi campuran lapisan perkerasan jalan AC-WC menggunakan Crumb Rubber dengan *filler* abu sekam padi.
- Untuk Praktisi dan Instansi Terkait
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan tentang pengaruh penambahan Crumb Rubber dengan *filler* abu sekam padi pada lapisan perkerasan AC-WC dan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dan acuan untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini bisa berjalan secara efektif dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian dibatasi sebagai berikut :

1. Aspal yang digunakan adalah produksi Pertamina dengan penetrasi 60/70
2. Agregat kasar, sedang, dan halus dari PT. MRS, Bululawang
3. Pemeriksaan material menggunakan metode DEPKIMPRASWIL 2002.
4. Tempat penelitian di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.
5. Skala penelitian ditentukan dengan persyaratan dan ketentuan laboratorium.
6. Tumbukan menggunakan 2x75
7. Variasi penambahan Crumb Rubber sebesar 2%, 4%, 6%, 8%, 10%.
8. *Crumb Rubber* di dapatkan dari CV. Media Krakatau Group, Malang
9. Abu sekam padi di dapatkan dari Desa Ngunut, Tulungagung, Jawa Timur
10. Kadar *filler* yang digunakan sesuai perhitungan.
11. Tidak membahas variasi kadar *filler*.
12. Tidak membahas dan memperhitungkan sifat kimia dari Crumb Rubber baik proses maupun pengaruhnya.
13. Tidak membahas atau membandingkan segi ekonomis antara bahan tambah Crumb Rubber dengan bahan tambah lainnya.
14. Tidak membahas biaya produksi.

1.7 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian merupakan jawaban sementara terhadap persyaratan yang diajukan dalam rumusan masalah dimana jawaban tersebut dapat dibuktikan kebenarannya dengan mengadakan uji fakta empirik yang dikumpulkan. Dalam penelitian ini dipakai :

1. Hipotesis pertama

- Hipotesis nihil (H_0) yaitu menyatakan tidak ada perbedaan nilai karakteristik Marshall (nilai stabilitas, flow, marshall quotient, % rongga udara dalam campuran (VIM), % rongga udara dalam agregat kasar (VMA) antara campuran lapisan perkerasan AC-WC yang menggunakan *filler* abu sekam padi akibat penambahan Crumb Rubber dan tidak menggunakan Crumb Rubber.
- Hipotesis alternatif (H_a) yaitu menyatakan ada perbedaan nilai karakteristik Marshall (nilai stabilitas, flow, marshall quotient, % rongga udara dalam campuran (VIM), % rongga udara dalam agregat kasar (VMA) antara campuran lapisan perkerasan AC-WC yang menggunakan *filler* abu sekam padi akibat penambahan Crumb Rubber dan tidak menggunakan Crumb Rubber.

Sedangkan hipotesa statistiknya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$H_0; \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1; \mu_1 \neq \mu_2$$

Dimana : μ_1 = Nilai parameter Marshall campuran lapisan perkerasan AC-WC dengan *filler* abu sekam padi akibat penambahan Crumb Rubber.

μ_2 = Nilai parameter Marshall campuran lapisan perkerasan AC-WC dengan *filler* abu sekam padi tanpa penambahan Crumb Rubber.

2. Hipotesis Kedua

Penambahan serbuk Crumb Rubber 2%, 4%, 6%, 8%, 10%.

- Hipotesis nihil (H_0) yaitu menyatakan tidak adanya perbedaan nilai karakteristik Marshall terhadap campuran AC-WC menggunakan *filler* abu sekam padi dengan penambahan Crumb Rubber 2%, 4%, 6%, 8%, 10%.
- Hipotesis alternatif (H_a) yaitu menyataka adanya perbedaan nilai karakteristik Marshall terhadap campuran menggunakan *filler* abu sekam padi dengan penambahan Crumb Rubber 2%, 4%, 6%, 8%, 10%.

Sedangkan hipotesa statistiknya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$H_0 ; \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$$H_1 ; \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$$

Dimana :

- μ_1 = Parameter Marshall campuran menggunakan *filler* abu sekam padi dengan penambahan Crumb Rubber 2%
- μ_2 = Parameter Marshall campuran menggunakan *filler* abu sekam padi dengan penambahan Crumb Rubber 4%
- μ_3 = Parameter Marshall campuran AC-WC menggunakan *filler* abu sekam padi dengan penambahan Crumb Rubber 6%
- μ_4 = Parameter Marshall campuran AC-WC menggunakan *filler* abu sekam padi dengan penambahan Crumb Rubber 8%
- μ_5 = Parameter Marshall campuran AC-WC menggunakan *filler* abu sekam padi dengan penambahan Crumb Rubber 10%

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Jalan

Pada umumnya pembangunan jalan berdasarkan bahan pengikat.

Konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas : (Silvia Sukirman, 1995 : 4)

a. **Konstruksi Perkerasan Lentur**

Yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan – lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

b. **Konstruksi Perkerasan Kaku**

Yaitu perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikat. Plat beton dengan atau tanpa tulangan di letakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar di pikul oleh plat beton.

c. **Konstruksi Perkerasan Komposit**

Yaitu perkerasan kaku yang di kombinasikan dengan perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) merupakan lapisan pada Asphalt Concrete (AC) yang lebih di kenal dengan Laston (Lapisan Aspal Beton) yang termasuk dalam jenis Perkerasan Lentur (Flexible Pavement)

2.2 Aspal Beton

Aspal beton atau *asphaltic conterete* adalah campuran dari agregat bergradasi menerus dengan bahan bitumen. Aspal Beton sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Penggunaannya pun di Indonesia dari tahun ketahun makin meningkat. Hal ini disebabkan aspal beton mempunyai beberapa kelebihan dibanding dengan bahan-bahan lain, kemampuannya dalam mendukung beban berat kendaraan yang tinggi

dan dapat dibuat dari bahan-bahan lokal yang tersedia dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap cuaca. Kekuatan utama aspal beton ada pada keadaan butir agregat. Pengalaman para pembuat aspal beton mengatakan bahwa campuran ini sangat stabil tetapi sangat sensitif terhadap variasi dalam pembuatannya dan perlu tingkat *quality control* yang tinggi dalam pembuatannya, bila potensinya ingin penuh terealisasi.

Menurut spesifikasi umum pekerjaan jalan Bina Marga tahun 2011, jenis campuran beton aspal terdiri dari :

1. Lapis Tipis Aspal Beton (Hot Rolled Sheet, HRS).

Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) yang selanjutnya disebut HRS, terdiri dari dua jenis campuran, HRS Pondasi (HRS - Base) dan HRS Lapis Aus (HRS Wearing Course, HRS-WC) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. HRS-Base alam proporsi fraksi agregat kasar lebih besar daripada HRS - WC. Untuk mendapatkan hasil yang memuaskan, maka campuran harus dirancang sampai memenuhi semua ketentuan yang diberikan dalam Spesifikasi.

2. Lapis Aspal Beton (Asphalt Concrete, AC).

Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis campuran :

- a. AC Lapis Aus (AC-WC),
- b. AC Lapis Antara (AC-BC) dan
- c. AC Lapis Pondasi (AC-Base).

Ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan Aspal Polimer atau Aspal dimodifikasi dengan Aspal Alam atau Aspal Multigrade disebut masing-masing sebagai AC-WC Modified, AC-BC Modified, dan AC-Base Modified.

2.3 Agregat

Agregat kasar yang akan digunakan sebagai campuran beton aspal harus memenuhi ketentuan sebagai berikut (Bina Marga, 2011) :

1. Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.8 (2,36 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.
2. Fraksi agregat kasar harus dari batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan seperti ditunjukkan pada.
3. Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam Tabel. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih berdasarkan uji menurut Pennsylvania DoT's Test Method No.621.
4. Fraksi agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (cold bin feeds) sedemikian rupa sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik.

Menurut spesifikasi umum Bina Marga 2011, agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.8 (2,36 mm).
2. Fraksi agregat halus harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar.
3. Pasir alam dapat digunakan dalam campuran AC sampai suatu batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran.
4. Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Batu pecah halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu dalam. Apabila fraksi agregat halus yang diperoleh dari hasil pemecah batu tahap pertama (primary crusher) tidak memenuhi pengujian Standar Setara Pasir maka fraksi agregat harus dipisahkan dan tidak diperkenankan untuk campuran aspal jenis apapun.

5. Agregat pecah halus dan pasir harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (cold bin feeds) yang terpisah sehingga gradasi gabungan dan presentase pasir didalam campuran dapat dikendalikan dengan baik.

Bahan pengisi (filler) yang ditambahkan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Bina marga, 2010) :

1. Bahan pengisi atas debu batu kapur (limestone dust), kapur padam (hydrated lime), semen atau abu terbang yang sumbernya disetujui oleh Direksi Pekerjaan.
2. Bahan pengisi harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (75 micron) tidak kurang dari 75 % terhadap beratnya.
3. Bilamana kapur tidak terhidrasi atau terhidrasi sebagian, digunakan sebagai bahan pengisi yang ditambahkan maka proporsi maksimum yang diijinkan adalah 1,0% dari berat total campuran beraspal. Kapur yang seluruhnya terhidrasi yang dihasilkan dari pabrik yang disetujui dan memenuhi persyaratan dapat digunakan maksimum 2% terhadap berat total agregat.
4. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan tidak kurang dari 1% dan maksimum 2% dari berat total agregat.

2.4 *Crumb Rubber*

Sebagai bahan campuran pada asphalt

Asphalt yang dimodifikasi dengan karet telah lama dikenal untuk memperbaiki sifat reologi pada suhu rendah dan tinggi dan membuat daya tahan lebih lama 3 kali lipat dibandingkan dengan asphalt konvensional. Meskipun harga asphalt yang dimodifikasi dengan karet tersebut jauh lebih tinggi daripada asphalt

konvensional, keuntungan yang diperoleh dengan penambahan umur asphalt modifikasi tersebut menjadikan total harga yang lebih murah.

Produksi asphalt yang dimodifikasi dengan karet dilakukan dengan cara tradisional yang sederhana yaitu mencampur asphalt yang dipanaskan lebih dari 200°C dengan 15-25% berat partikel karet / karet serbuk. Produk yang dihasilkan mempunyai kekentalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan asphalt konvensional pada rentang suhu yang cukup luas. Keuntungan lain adalah meningkatkan sifat impermeabilitas / tidak tembus. Tetapi perlu dipertimbangkan juga kekurangannya yaitu hal yang berkaitan dengan proses persiapan selama penyimpanan campuran panas. **Crumb rubber / karet serbuk** dan asphalt akan memisah menjadi 2 fase atau lebih, dikarenakan interaksi yang lemah antara permukaan partikel karet dan asphalt. Pemisahan yang terjadi pada asphalt biasa terjadi antara 2 sampai 4 % saat campuran panas disimpan. Asphalt yang dimodifikasi dengan karet menghasilkan campuran tidak homogen sampai 25 % pemisahan. Keadaan tidak homogen ini mengurangi reliabilitas produk tersebut. Pemisahan ini mengurangi umur yang diharapkan dari asphalt yang dimodifikasi dengan karet ini.

Beberapa studi menunjukkan bahwa penambahan bahan kimia dapat mengikat karet dan asphalt sehingga mengurangi pemisahan dan menghasilkan produk homogen yang lebih tahan lama. Pemisahan yang terjadi menurun drastis menjadi hanya 5 – 7 %. Hal ini dikarenakan terjadinya ikatan kimia bukan hanya campuran fisik. Peningkatan stabilitas campuran dan sifat yang lebih homogen mengurangi biaya penyimpanan dan meningkatkan umur dari jalan yang diasphalt.

Sifat baik lain yang muncul adalah meningkatkan sifat reologi pada suhu rendah dan tinggi. Umumnya dengan penambahan kimia, biaya akan meningkat 60 % lebih tinggi tanpa adanya penambahan bahan kimia. Tetapi biaya penyimpanan akan berkurang.

2.5 Abu Sekam Padi Sebagai *Filler*

Filler adalah kumpulan mineral yang sebagian besar lolos saringan No.200 (75 μ m). Fungsi dari *filler* adalah sebagai bahan pengisi rongga-rongga antar agregat (kasar) yang diharapkan dapat meningkatkan kerapatan dan memperkecil permeabilitas dari campuran.

Disamping ukurannya yang harus relatif halus, bahan *filler* harus memiliki sifat-sifat tertentu seperti bersifat sementasi jika terkena air dan memiliki daya rekat yang tinggi dengan agregat lainnya (Mutohar, Y., 2002). Diantara bahan-bahan yang memiliki sifat sementasi jika terkena air dan banyak dipakai sebagai bahan *filler* adalah abu batu (*rock ash*), abu terbang (*fly ash*), *gypsum*, *portland cement* (PC), abu genting dan lainnya.

Dari hasil penelitian yang sudah pernah dilakukan (Muntohar A. S. dan B. Hantoro, 2001), abu sekam diyakini memiliki sifat-sifat yang baik sebagai *filler* pemadat karena memiliki sifat sementasi, disamping ukuran butirannya yang relatif kecil (lolos No.200). Beberapa keuntungan yang jelas terlihat dari abu sekam sebagai bahan *filler* diantaranya keberlimpahan sekam sebagai residu padi memberikan prospek bagi pengadaan bahan *filler* yang relatif murah dibanding dengan bahan lain yang relatif mahal dan biasanya sulit didapat.

Tabel 2.1. Syarat gradasi bahan pengisi (*filler*)

Ukuran Saringan	% Lolos
No. 30 (0,59 mm)	100
No. 50 (0,279 mm)	95 – 100
No. 100 (0,149 mm)	90 – 100
No. 200 (0,075 mm)	65 – 100

Sumber: Bina Marga, 1995

2.6. Penelitian Terdahulu

- **Penelitian yang di lakukan oleh Eko Suprayitno, (1999)** mengenai “**Pengaruh penambahan serbuk ban bekas dengan filler fly ash terhadap karakteristik beton aspal (AC)**”, menyimpulkan bahwa penggunaan ban bekas sebagai alternatif bahan *additive* aspal memenuhi persyaratan yang di tetapkan oleh Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (LASTON) Untuk Jalan Raya, SKBI 2.4.26.1987, Departemen PU. Yang berarti Crumb Rubber di rekomendasikan sebagai bahan *additive*
- **Penelitian yang di lakukan oleh Paravita Sri Wulandari dan Daniel Tjandra (2017)** Mengenai “ Use of Crumb Rubber as an additive in asphalt concret mixture”, kesimpulan dari penelitian yang mereka berdua lakukan yaitu :
 1. *Crumb rubber* di rekomendasikan sebagai bahan additive pada campuran aspal, karena semua hasil pengujian sesuai dengan persyaratan standart.
 2. Penambahan *crumb rubber* cenderung meningkatkan kualitas dan kekuatan campuran aspal, hal ini di nyatakan dengan adanya peningkatan stabilitas dan penurunan *flow*
- **Penelitian yang di lakukan oleh Sanda, Junianto (2015)** Mengenai “Pengaruh Kombinasi Abu Sekam Padi Dan Semen Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Marshall Campuran Lapis Aspal Beton”, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar aspal optimum dan nilai marshall test dari kombinasi penggunaan sekam padi dan semen sebagai filler yang meliputi : nilai stabilitas, Marshall Quotient, flow, density, Void In The Mix, Void Filled With Asphalt. Penelitian ini menggunakan metode Marshall yang digunakan pada beberapa variasi perbandingan benda uji. Variasi kadar filler sekam padi (P) dan semen (S), yaitu (0P : 4S), (1P : 3S), (2P : 2S), (3P : 1S), (4P : 0S) dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%. Persyaratan yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh penggunaan

kombinasi sekam padi dan semen dalam AC (Asphalt Concrete), hampir semua nilai Void Filled With Asphalt (VFWA) memenuhi syarat, kecuali pada campuran aspal 5% dengan variasi perbandingan (0P : 4S), (1P : 3S), (2P : 2S), campuran aspal 5,5% dengan variasi perbandingan (1P : 3S). Nilai Void In The Mix (VITM) yang memenuhi syarat adalah campuran dengan kadar aspal 5,5% dengan variasi perbandingan (3P : 1S), (4P : 0S), kadar aspal 6% dengan variasi perbandingan (1P : 3S), (2P : 2S), (3P : 1S), kadar aspal 6,5% dengan variasi perbandingan (0P : 4S), (1P : 3S), (2P : 2S), dengan persyaratan nilai VITM adalah 3% - 5%. Semua nilai flow dan stabilitas memenuhi persyaratan. Nilai QM yang tidak memenuhi persyaratan ada pada kadar aspal 6,5% dengan variasi perbandingan (4P : 0S).

Penelitian yang dilakukan oleh Raden Hendra Ariyapijati, Sigit Pranowo Hadiwardoyo, dan R. Jachrizal Sumabrata (2017) Mengenai “Contributions crumb rubber in hot mix asphalt to the resilient modulus”, Studi ini meneliti kontribusi karet remah dalam hal nilai modulus ketahanan dan ketahanan terhadap deformasi. Campuran aspal panas yang digunakan adalah aspal Pen 60/70, agregat kasar, agregat halus dan pengisi. Karet remah terbuat dari karet ban bekas, berupa serbuk halus dengan saringan no. 30 (0,6 mm). Aditif CR ditambahkan ke aspal dasar pada beberapa tingkat 5%, 10%, 15%, dan 20% pada suhu 177 ° C. Data uji menggunakan uji tarik tidak langsung dengan alat UMATTA pada suhu 25 °, 35 °, dan 45 ° C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar karet remah pada aspal menurunkan tingkat penetrasi, meningkatkan titik leleh bitumen, dan meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen. Penambahan bahan aditif terbukti dapat memperbaiki indeks penetrasi, mengurangi sensitivitas suhu, dan meningkatkan viskositas. Selanjutnya, dapat memperpanjang rentang suhu viskoelastisitas. Kontribusi karet remah pada aspal campuran panas meliputi peningkatan deformasi yang dapat dipulihkan dan penurunan nilai modulus ketahanan. Studi ini menunjukkan bahwa dengan penambahan karet remah, bahan perkerasan menjadi lebih elastis, sehingga dapat mengurangi tingkat kerusakan berupa retakan pada jalan, namun juga menurunkan kemampuan trotoar untuk menahan beban.

2.7 Statistika

Statistika merupakan kumpulan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan cara-cara pengumpulan data, pengolahan atau penganalisaannya dan dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan kumpulan data dan penganalisaan yang telah dilakukan. Adapun beberapa bentuk analisa yang akan digunakan untuk membantu dalam validitas data antara lain: Regresi Linier (R^2), Interval kepercayaan, Uji Hipotesis, dan Uji Korelasi (r).

a. Kegunaan Statistika

- Membantu penelitian dalam menggunakan sampel sehingga penelitian dapat bekerja efisien dengan hasil yang sesuai dengan obyek yang ingin diteliti
- Membantu penelitian untuk membaca data yang telah terkumpul sehingga peneliti dapat mengambil keputusan yang tepat
- Membantu peneliti untuk melihat ada tidaknya perbedaan antara kelompok yang satu dengan kelompok yang lainnya atas obyek yang diteliti
- Membantu peneliti untuk melihat ada tidaknya hubungan antara variabel yang satu dengan variabel yang lainnya
- Membantu peneliti dalam menentukan prediksi untuk waktu yang akan datang
- Membantu peneliti dalam melakukan interpretasi atas data yang terkumpul (M.Subana dkk, 2000;14)
- Pemerintah menggunakan statistika untuk menilai hasil pembangunan masa lalu dan merencanakan masa mendatang
- Pimpinan menggunakannya untuk pengangkatan pegawai baru, pembelian peralatan baru, peningkatan kemampuan karyawan, perubahan sistem kepegawaian, dsb.
- Para pendidik sering menggunakannya untuk melihat kedudukan siswa, prestasi belajar, efektivitas metoda pembelajaran, atau media pembelajaran.

- Para psikolog banyak menggunakan statistika untuk membaca hasil pengamatan baik melalui tes maupun obserbasi lapangan.

b. Peranan Statistika

Menurut Sugiyono (2003:12), statistika berperan untuk:

- Alat untuk menghitung besarnya anggota sampel yang diambil dari suatu populasi, sehingga jumlah sampel yang dibutuhkan akan lebih dapat dipertanggungjawabkan
- Alat untuk menguji validitas dan reliabilitas instrumen sebelum instrumen tersebut digunakan dalam penelitian
- Sebagai teknik untuk menyajikan data, sehingga data lebih komunikatif, misalnya melalui tabel, grafik, atau diagram
- Alat untuk menganalisis data seperti menguji hipotesis yang diajukan dalam penelitian.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.

3.2. Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Satu Set Saringan (Sieve) Alat ini digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi agregat.
2. Alat Uji Marshall mesin uji ketahanan campuran atau aspal yang dilengkapi dial pembebanan, dengan kapasitas sampai dengan 2500 kg atau 5000 kg
3. Alat uji pemeriksaan aspal : Alat yang digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain : alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan).
4. Alat uji pemeriksaan agregat : Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain los angeles (Tes abrasi), alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas).
5. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
6. Alat karakteristik campuran agregat aspal : Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode Marshall, meliputi :
 - a. Alat tekan Marshall yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji flowmeter.
 - b. Cetak benda uji bentuk silinder diameter 10,16 cm tinggi 6,35 cm.

- c. Marshall automatic compactor yang digunakan untuk pemadatan campuran sebanyak 75 kali tumbukan tiap sisi (atas dan bawah).
 - d. Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan
 - e. Bak perendam (water bath) yang dilengkapi pengatur suhu
7. Alat Bantu : Alat-alat penunjang yang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, thermometer, sendok pengaduk, kaos tangan, kain lap, timbangan, jangka sorong, tip-ex digunakan untuk menandai benda uji.

3.3. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- 1. Agregat kasar 10/10, sedang 5/10 , dan halus 0/5 berupa batu pecah yang diambil dari PT. MRS, Bululawang, Jawa Timur, dengan diameter butiran standar untuk lapis perkerasan jenis laston.
- 2. Bahan pengisi (filler) yang digunakan adalah Abu Sekam Padi yang di dapatkan dari limbah pembakaran di desa Tulungagung
- 3. Variasi penambahan Crumb Rubber sebesar 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% Berat *crumb rubber* di ambil dari persenan berat Kadar Aspal Optimum (KAO)
- 4. Aspal yang digunakan adalah aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70

3.4. Tahap-tahap Penelitian

Tahap-tahap penelitian yang akan dilakukan akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Persiapan

Persiapan yang dilakukan yaitu persiapan pustaka, persiapan bahan material dan juga persiapan alat yang digunakan. Persiapan bahan yaitu mendatangkan aspal dan agregat dari sumbernya ke Laboratorium Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Insitut Teknologi Nasonal Malang dan menyiapkan bahan bahan tersebut untuk diuji sebelum digunakan dalam campuran beraspal.

2. Pengujian Bahan

a. Aspal keras

Pada aspal Pertamina dilakukan uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, berat jenis, dan kehilangan berat. Standar pengujian aspal seperti tertera pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Standar Pengujian Aspal

No	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Penetrasi	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991
3	Daktilitas	SNI 06-2432-1991
4	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991
5	Kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991

b. Agregat kasar, halus, filler

Agregat diperlukan sebagai bahan pengisi pada campuran beraspal dengan komposisi gradasi sesuai dengan gradasi terpakai yang memenuhi spesifikasi yang ada. Untuk agregat kasar, agregat halus, dilakukan pengujian analisa saringan, berat jenis, dan penyerapan dan abrasi dan filler yang digunakan adalah semen. Standar pemeriksaan agregat seperti tertera pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Standar Pemeriksaan Agregat

No	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990
2	Berat Jenis dan penyerapan agregat kasar	SNI 03-1969-1990
3	Berat Jenis dan penyerapan adredat halus	SNI03-1970-1990
4	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 03-2417-1990

3. Perencanaan Campuran

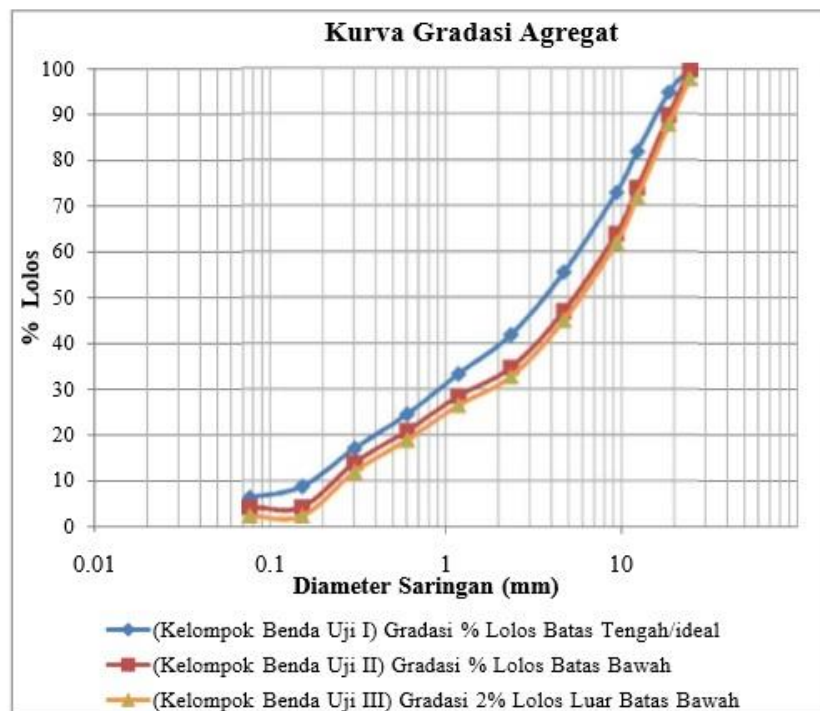
Rencana campuran adalah analisa perhitungan komposisi campuran material agregat dari tiap nomor saringan, sehingga didapat komposisi campuran agregat yang diharapkan. Untuk itu dalam pemilihan gradasi agregat campuran ini harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

a. Gradasi

Penelitian melihat perbandingan persentase gradasinya berada di luar batas bawah. Sehingga perencanaan campuran dilakukan dengan menggunakan gradasi batas bawah.

Dan grafik gradasi agregat dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut :

Gambar 3.1 Grafik Kurva Gradasi Agregat



b. Variasi kadar aspal dan jumlah benda uji

Dalam penelitian ini digunakan kadar aspal penetrasi 60/70 yang diproduksi oleh Pertamina. Pada gradasi % lolos batas tengah (benda uji I)

didapat kadar aspal yang dipakai adalah 4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0%; dan 6,5%. Untuk masing-masing variasi kadar aspal dibuat 4 sampel. Sehingga dihasilkan 20 sampel dari lima kadar aspal.

6. Rancangan Benda Uji

Dalam suatu penelitian jumlah sampel sangat penting untuk tingkat ketelitian dalam pengujian. Untuk penelitian ini di rencanakan jumlah sample sebagai berikut :

Tabel 3.3 Rancangan Benda Uji Rendaman 30 Menit

NO	Pengujian	Jumlah Sample	Keterangan
1	Campuran Standart	25	5 sample pada tiap variasi kadar aspal : 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5%
2	Campuran dengan tambahan Crumb Rubber pada KAO yang telah di tentukan	30	5 sample pada tiap variasi Crumb Rubber : 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%
3	Total Sample	55	

8. Pembuatan Benda Uji

Berikut langkah-langkah pembuatan benda uji :

1. Pencampuran Standart mencari KAO

- Menimbang agregat sesuai presentase agregat campuran yang telah dihitung,
- Pisahkan kedalam kantong plastik berbeda dengan di berikan nomer agar mempermudah
- Memanaskan aspal hingga cair untuk pencampuran, pencampuran di lakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata.

- d. Agregat yang di timbang tadi di keringkan hingga pada suhu 120 °C.
- e. Setelah agregat mencapai suhu 120°, agregat di campurkan bersama aspal yang telah di hitung
- f. Panaskan kembali campuran hotmix hingga mencapai suhu 140°
- g. Setelah temperatur pemadatan tercapai 140°, maka campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan (mold) yang telah diolesi pelumas terlebih dahulu, pada bagian bawah cetakan dilapisi kertas yang telah dipotong sesuai dengan diameter cetakan (mold).
- h. Pemadatan standar dilakukan dengan alat Marshall Automatic Compactor dengan jumlah tumbukan 75 kali dibagian sisi atas kemudian dibalik dan sisi bagian bawah juga ditumbuk sebanyak 75 kali.
- i. Setelah proses pemadatan selesai benda uji didiamkan agar suhunya turun, setelah dingin benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode.
- j. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm menggunakan mikrometer sekrup di ke empat sisi benda uji dan ditimbang beratnya di udara.
- k. Setelah itu benda uji direndam dalam air selama 10 – 24 jam supaya jenuh.
- l. Setelah jenuh benda uji ditimbang dalam air.
- m. Benda uji dikeluarkan dari bak timbangan dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi kering permukaan jenuh (saturate surface dry, SSD) kemudian ditimbang.
- n. Setelah itu masukkan benda uji ke dalam bak perendaman selama 30 menit
- o. Tes benda uji dengan alat marshall untuk mendapatkan nilai Stabilitas dan Flow

2. Benda uji kadar aspal optimum

Setelah Kadar Aspal di dapatkan dengan perhitungan, maka di lakukan pembuatan benda uji kembali dengan variasi kadar *crumb rubber*.

- a. Step pembuatan benda uji sama dengan yang di lakukan pada pencampuran standart, namun yang membedakan adalah penambahan bahan *additive* pada saat pencampuran aspal dengan berat yang telah di hitung dari berat aspal

9. Pengujian dengan alat Marshall

- a. Pemeriksaan berat jenis campuran

Setelah dilakukan pencampuran material, pembuatan benda uji dan pemadatan kedua sisi dilaksanakan, benda uji dikeluarkan dari cetakan kemudian diukur pada tiga sisi setiap benda uji dan ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji kering. Kemudian merendam benda uji di dalam bak selama 3-5 menit dan ditimbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air. Kemudian benda uji diangkat dan dilap sehingga kering permukaan dan didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD).

- b. Pengujian

Pengujian ini untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap (flow) dari campuran aspal sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T-245-90. Benda uji direndam selama 30 menit dengan suhu tetap 60 °C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$). Setelah itu benda uji diletakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan dengan catatan bahwa waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari bak perendam (water bath) maksimum tidak boleh melebihi 30 detik. Kemudian benda uji dibebani dengan kecepatan sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun

seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan, yang dicatat adalah pembebanan maksimum atau stabilitas yang dicapai dan nilai flow.

10. Menghitung Parameter Marshall

Setelah pengujian Marshall selesai serta nilai stabilitas dan flow didapat, selanjutnya menghitung Parameter Marshall yaitu VIM, VMA, dan Parameter lainnya sesuai parameter yang ada pada Spesifikasi campuran. Kemudian menggambarkan hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall, yaitu gambar hubungan antara:

- a. Kadar aspal dengan stabilitas
- b. Kadar aspal dengan flow
- c. Kadar aspal dengan VIM
- d. Kadar aspal dengan VMA
- e. Kadar aspal dengan VFA
- f. Kadar aspal dengan Marshall Quotient (MQ)

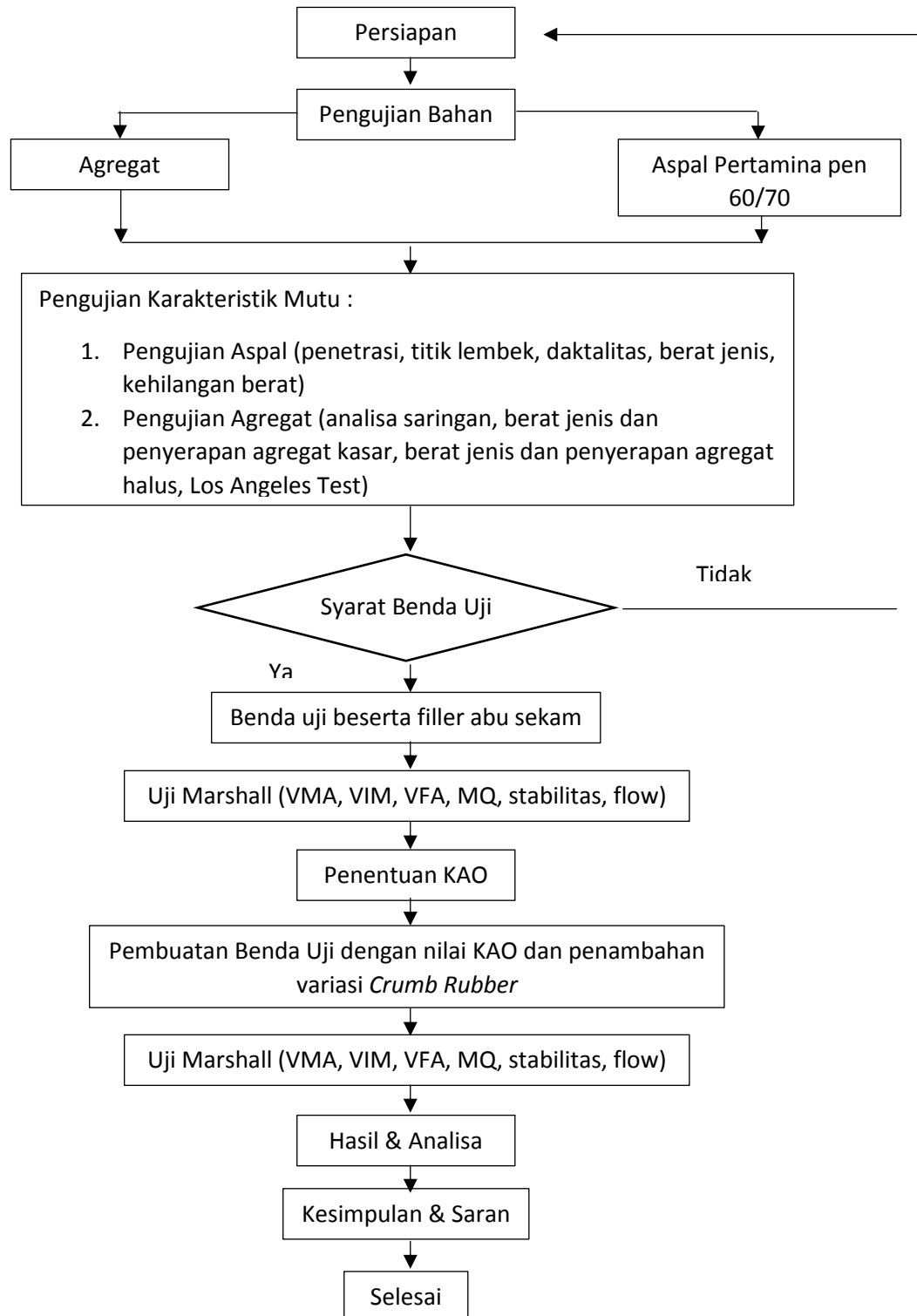
11. Hasil Penelitian di Laboratorium dan Pembahasan

Dari hasil penelitian di laboratorium akan dibandingkan Hasil *Test Marshall* (stabilitas, VIM, VFA, VMA, Flow, MQ) dari ke lima kadar Crumb Rubber beserta non *Crum Rubber*, serta hasil pengolahan akan di uraikan dalam bentuk tabel dan grafik

3.5. Diagram Alir Penelitian

Dari prosedur yang telah dijelaskan di atas dapat dibuat diagram alir penelitian seperti pada Gambar 3.3. dibawah ini.

Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

HASIL PENGUJIAN AGREGAT DAN ASPAL

4.1 Hasil Pengujian Agregat

4.1.1 Pengujian Agregat Terhadap Tumbukan (*Impact Value*) (*BS 812 : Part 3 : 1975*)

Pengujian ini untuk menentukan ketahanan agregat batu pecah terhadap tumbukan dengan menggunakan mesin Impact. Pengujian agregat ini dinyatakan dengan *Aggregate Impact Value* (AIV). Pengujian agregat terhadap tumbukan (AIV) dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Agregat Terhadap Tumbukan (*Aggregate Impact Value*)

			I	II
(A)	Berat benda uji	gram	492,1	494,8
(B)	berat benda uji setelah tes dan lewat saringan # 2,36 mm BS	gram	62,4	63,0
(C)	Berat benda uji setelah tes dan tertahan saringan # 2,36 mm BS	gram	429,4	431,6
	Aggregate Impact Value (AIV)	(%)	12,68	12,73
	Rata-rata Aggregate Impact Value	(%)	12,71	

Catatan : Rata-rata Aggregate Impact Value = 12,71 %

(Maksimum 30%)

4.1.1.1 Hasil Pengujian

$$AIV = \frac{B}{A} \times 100\%$$

Dimana :

AIV = Agregat Impact Value (%)

A = Berat awal benda uji (gr)

B = Berat lolos saringan #2,36 mm (gr), (saringan pemisah setelah proses selesai)

AIV ditentukan berdasarkan harga rata-rata dari dua pengukuran sebagai berikut :

Sample I

A = 492,1 gram

B = 62,4 gram

$$\text{Maka AIV} = \frac{62,4}{492,1} \times 100\% = 12,68 \%$$

Sample II

A = 494,8 gram

B = 63 gram

$$\text{Maka AIV} = \frac{63}{494,8} \times 100\% = 12,73 \%$$

$$\text{Maka nilai rata-rata} = \frac{12,68 + 12,73}{2} = 12,71\%$$

Kesimpulan :

Hasil perhitungan rata-rata agregat impact value didapatkan nilai sebesar 12,71% sedangkan persyaratan agregat impact value maksimum 30%, maka agregat ini dapat digunakan sebagai bahan campuran.

4.1.2 Hasil Pengujian Indeks Kepipihan (*Flakiness Index*) (BS 812 : Part 1 : 1975)

Metode ini didasarkan pada klasifikasi partikel agregat sebagai benda pipih (*flaky*) dengan ketebalan (dimensi terkecilnya) kurang dari 0,6 ukuran nominalnya. Ukuran ini diambil sebagai nilai batas rata-rata dari lubang-lubang saringan yang digunakan untuk menentukan ukuran fraksi partikel.

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menyeragamkan cara memperoleh indeks kepipihan atau presentase berat agregat kasar atau pipih yang masih dapat digunakan. Pengujian indeks kepipihan dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Indeks Kepiphan (Flakines Indeks) Agregat

Analisa Saringan		Berat Kering Oven = 3500 gram
Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Prosentase Tertahan (%)
63		
50		
37,5		
28		
20		
10	1886,267	94%
7	874,067	87,4%
4	467,96	94%
Berat Benda Uji (M1)		3500 gram
Total berat tertahan di atas 5% (M2)		3228,294 gram
Total berat lolos pada tes flakiness (M3F)		271,706 gram
Flakiness Index $\frac{M3 \times 100}{M2}$		8,42%

4.1.2.1 Hasil Pengujian

$$\text{Indeks Kepipihan (\%)} = \frac{M3 \times 100}{M2}$$

Dimana :

M2 = Jumlah fraksi yang mempunyai prosentase berat tertahan lebih besar terhadap 5% terhadap berat total (gram)

M3F = Jumlah berat partikel agregat yang lolos pada alat pada kepipihan (gram)

Maka dari hasil percobaan diperoleh :

M1 = 3500 gram

M2 = 3228,29 gram

M3 = 271,706 gram

$$\text{Indeks Kepipihan (\%)} = \frac{M3 \times 100}{M2} = \frac{271,706 \times 100}{3228,29} = 8,42\%$$

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian Flakines Indeks Agregat didapatkan nilai sebesar 8,42%, sedangkan syarat maksimum Flakines Indeks Agregat adalah 25%, sehingga agregat tersebut dapat digunakan.

4.1.3 Pengujian Angka Angularitas (*Angularity Number*) (*BS 812 : Part 1 : 1975*)

Pengujian ini adalah untuk menyeragamkan dengan cara memperoleh angka angularitas agregat kasar yang masih dapat digunakan. Pengujian angka angularitas ditentukan dari proporsi rongga dalam sebuah sampel agregat sesudah kompaksi. Angularitas atau adanya bagian-bagian yang bersudut pada partikel pada suatu agregat merupakan bagian yang penting karena hal ini mempengaruhi kemudahan saling mengunci (*interlocking*) antar partikel. Pengujian angka angularitas dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Penentuan Angka Angularitas (*Angularity Number*)

Uraian		berat (gram)
Berat silinder kosong	W1	3550
Berat silinder + air penuh	W2	6630
Berat air	$C = W2 - W1$	3080
Percobaan I		
Berat silinder + agregat	W3	8550
Berat agregat	$W4 = W3 - W1$	5000
8120		
Berat silinder + agregat	W5	8620
Berat agregat 2	$W6 = W5 - W1$	5070
Percobaan III		
Berat silinder + agregat 3	W7	8650
Berat agregat 3	$W8 = W7 - W1$	5100

$$\text{Angka Angularitas} = 67 - \frac{100 M}{C Ga} = 5,05$$

4.1.3.1 Hasil Pengujian

$$\text{Indeks Kepipihan (\%)} = 67 - \frac{100M}{C Ga}$$

Dimana :

M = Berat agregat dalam silinder rata-rata = $(W4+W6+W8)/3$

C = Berat air diisi penuh dalam silinder

Ga = Berat jenis (Specific Gravity) dari agregat

Maka dari hasil pengujian diperoleh :

W1 (berat silinder kosong) = 3550 gram

W2 (berat silinder + air penuh) = 6630 gram

Beratair, C = $W2 - W1 = 6630 - 3550 = 3080$ gram

Untuk percobaan I

W3 (berat silinder+agregat) = 8550 gram

W4(berat agregat)= $W3 - W1 = 8550 - 3550 = 5000$ gram

Untuk percobaan II

W5 (berat silinder+agregat)= 8620 gram

W6 (berat agregat 2)= $W5 - W1 = 8620 - 3550 = 5070$ gram

Untuk percobaan III

W7 (berat silinder+agregat)= 8650 gram

W8 (berat agregat 3)= $W7 - W1 = 8650 - 3550 = 5100$ gram

$$\text{Angka Angularitas (\%)} = 67 - \frac{100 \cdot [(5000+5070+5100)/3]}{3080 \cdot 2,65} = 5,05\%$$

Kesimpulan :

Dari hasil pegujian agregat yang telah dilakukan didapatkan nilai angka angularitas sebesar 5,05%, maka agregat tersebut dapat digunakan. Dimana angka angularitas disyaratkan berkisar antara 0-12. Semakin besar nilai angka angularitas maka pencampuran lebih sulit dilaksanakan namun dapat memberikan stabilitas yang tinggi karena agregat saling mengunci.

4.1.4 Pengujian Berat Isi Agregat (AASHTO T-19-74)(ASTM C-29-71)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat isi agregat halus, kasar atau campuran. Berat isi adalah perbandingan antara berat dan volume. Pengujian berat isi dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat

Uraian		berat (gram)
		I
Berat silinder kosong	W1	7890
Berat silinder + air penuh	W2	17890
Berat air	$C = W2 - W1$	10000
Agregat lepas		
Berat silinder + agregat	W3	20970
Berat agregat	$W4 = W3 - W1$	13080
Agregat padat dengan tusukan		
Berat silinder + agregat	W5	22550
Berat agregat 2	$W6 = W5 - W1$	14660
Agregat padat dengan goyangan		
Berat silinder + agregat 3	W7	22620
Berat agregat 3	$W8 = W7 - W1$	14730

Berat isi agregat =	$\frac{W_3}{V}$	W_3 = Berat agregat dalam silinder V = volume agregat dalam silinder = volume air dalam silinder
Berat isi agregat lepas		1,31
Berat isi agregat padat dengan tusukan		1,47
Berat isi agregat padat dengan goyangan		1,47

Catatan : Rata-rata berat isi = 1,42

4.1.4.1 Hasil Pengujian

$$\text{Berat isi} = \frac{W_4}{V} (\text{kg/dm}^3)$$

Dimana :

V = Volume agregat dalam silinder = volume air dalam silinder (dm^3)

W4 = Berat benda uji (kg)

Perhitungan :

W1 (berat silinder kosong) = 7890 gram

W2 (berat silinder + air penuh) = 17890 gram

Berat air, C= W2 – W1 = 17890 – 7890 = 10000 gram = 10000 cm^3

Agregat lepas :

W3 (berat silinder + agregat 1) = 20970 gram

W4(W3-W1) = 13080 gram

Agregat padat dengan tusukan :

W5 (berat silinder + agregat 2) = 22550 gram

W6(W5-W1) = 14660 gram

Agregat padat dengan goyangan :

W7 (berat silinder + silinder 3) = 22620 gram

W8 (W7-W1) = 14730 gram

Maka berat isi agregat lepas : = W4/C = 13080/10000 = 1,31 gr/cm^3

Maka berat isi agregat padat dengan tusukan : = W6/C = 14660/10000 = 1,47 gr/cm^3

Maka berat isi agregat padat dengan goyangan := W8/C = 14730/10000 = 1,47 gr/cm^3

Kesimpulan :

Dari pengujian berat isi agregat nilai terbesar didapat pada saat pengujian agregat padat dengan goyangan yaitu sebesar 1,47 gr/cm^3 .

4.1.5 Pengujian Analisa Saringan Kasar, Sedang dan Halus (AASHTO T-27-82) (ASTM C-136-46)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Pengujian Analisa saringan dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.5, Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
25 mm (1")	0	0	0	100
19 mm (3/4")	0	0	0	100
12.5 mm (1/2")	3132,7	3133	20,87	79,13
9.5 mm (3/8")	6190,7	9323	62,12	37,88
4.75 mm (No. 4)	5250,5	14574	97,1	2,905
2.36 mm (No. 8)	411,2	14985	99,83	0,165
2 mm (No. 10)	0,5	14986	99,84	0,162
1.18 mm (No. 16)	0,9	14987	99,84	0,156
0.71 mm (No. 25)	1,6	14988	99,85	0,145
0.6 mm (No. 30)	1,4	14990	99,86	0,136
0.425 mm (No. 40)	0,5	14990	99,87	0,133
0.28 mm (No. 50)	0,2	14990	99,87	0,131
0.15 mm (No. 100)	2,3	14993	99,88	0,116
0.075 mm (No. 200)	9	15002	99,94	0,056
pan	8,4	15010	100	0
Total berat	15009,90			

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Sedang

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
25 mm (1")	0	0	0	100
19 mm (3/4")	0	0	0	100
12.5 mm (1/2")	0	0	0	100
9.5 mm (3/8")	3583,8	3584	35,67	64,33
4.75 mm (No. 4)	5156,1	8740	86,99	13,01
2.36 mm (No. 8)	1049,3	9789	97,44	2,561
2 mm (No. 10)	43,5	9833	97,87	2,128
1.18 mm (No. 16)	33,7	9866	98,21	1,793
0.71 mm (No. 25)	59,1	9926	98,8	1,204
0.6 mm (No. 30)	72,2	9998	99,51	0,486
0.425 mm (No. 40)	2,5	10000	99,54	0,461
0.28 mm (No. 50)	1,6	10002	99,56	0,445
0.15 mm (No. 100)	5,3	10007	99,61	0,392
0.075 mm (No. 200)	5,9	10013	99,67	0,333
pan	33,5	10047	100	0
Total berat	10046,50			

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
25 mm (1")	0	0	0	100
19 mm (3/4")	0	0	0	100
12.5 mm (1/2")	0	0	0	100
9.5 mm (3/8")	0	0	0	100
4.75 mm (No. 4)	12	12	0,239	99,76
2.36 mm (No. 8)	828,3	840,3	16,72	83,28
2 mm (No. 10)	687,6	1528	30,41	69,59
1.18 mm (No. 16)	652,7	2181	43,4	56,6
0.71 mm (No. 25)	563,5	2744	54,62	45,38
0.6 mm (No. 30)	350,4	3095	61,59	38,41
0.425 mm (No. 40)	457,4	3552	70,69	29,31
0.28 mm (No. 50)	515,4	4067	80,95	19,05
0.15 mm (No. 100)	536,6	4604	91,63	8,369
0.075 mm (No. 200)	337,3	4941	98,34	1,656
p a n	83,2	5024	83,2	5024
Total berat	5024,4			

Kesimpulan :

Dari hasil analisa saringan agregat kasar, sedang, dan halus didapatkan prosentase lolos yang selanjutnya akan dipergunakan dalam mencari prosentase campuran (Mix Design).

4.1.6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat (AASHTO T-84 81)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (bulk), berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry = ssd), berat jenis semu (apparent) dan penyerapan (absorpsi) dari agregat.

- Berat jenis (bulk specific gravity) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air sulis yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
- Berat jenis permukaan jenuh (SSD) ialah perbandingan antara berat kering permukaan jenuh dan berat air sulis yang isinya sama agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
- Berat jenis semu (apparent specific gravity) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air sulis yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.
- Penyerapan (absorbs) ialah prosentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering.

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.8, Tabel 4.9 , Tabel 4.10.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B _k	489.50	488.50	489.00
Berat contoh kering permukaan jenuh	B _j	500.00	500.00	500.00
Berat piknometer diisi air pada 25°C	B	665.70	669.90	667.80
Berat piknometer + contoh + air (25°C)	B _t	976.20	980.50	978.35
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{(B + B_j - B_t)}$	2.58	2.58	2.58
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{(B + B_j - B_t)}$	2.64	2.64	2.64
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$	2.58	2.58	2.58
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \%$	2.15%	2.35%	2.25%

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Sedang

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B _k	4915	4937.9	4926.45
Berat contoh kering permukaan jenuh	B _j	5000	5000	5000
Berat contoh di dalam air	B _a	3126.5	3127.2	3126.85
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2.62	2.64	2.63
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2.67	2.67	2.67
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2.75	2.73	2.74
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \%$	1.73%	1.26%	1.49%

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B _k	4889.8	4889.8	4889.8
Berat contoh kering permukaan jenuh	B _j	5000	5000	5000
Berat contoh di dalam air	B _a	3148.4	3158.3	3153.35
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2.64	2.66	2.65
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2.70	2.71	2.71
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2.81	2.82	2.82
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \%$	2.25%	2.25%	2.25%

4.1.6.1 Hasil Pengujian

Agregat Halus

- a. Berat jenis bulk (Bulk Specific Gravity) = $\frac{B_k}{(B+500-BT)}$
- b. Berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surfaced dry) = $\frac{500}{(B+500-BT)}$
- c. Berat jenis semu (apparent specific gravity) = $\frac{B_k}{(B+B_k-BT)}$
- d. Penyerapan (absorsi) = $\frac{(500-B_k)}{(B_k)} \times 100\%$

Dimana :

B_k = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

B_t = berat piknometer berisi benda uji dalam air (gram)

Percobaan Sampel 1 : B_k = 489,50

$$B_j = 500$$

$$B = 665,70$$

$$B_t = 976,20$$

Maka perhitungan :

$$\text{Berat jenis(bulk)} = \frac{B_k}{(B+500-BT)} = \frac{489,5}{(665,70+500-976,20)} = 2,58$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{500}{(B+500-BT)} = \frac{500}{(665,70+500-976,20)} = 2,64$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{(B+B_k-BT)} = \frac{489,5}{(665,70+489,5-976,20)} = 2,58$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(500-B_k)}{(B_k)} \times 100\% = \frac{(500-489,5)}{(489,5)} \times 100\% = 2,15\%$$

Percobaan Sampel 2 :

$$B_k = 488,50$$

$$B_j = 500$$

$$B = 669,90$$

$$B_t = 980,50$$

Maka perhitungan :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = \frac{Bk}{(B+500-BT)} = \frac{488,5}{(669,90+500-980,50)} = 2,58$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{500}{(B+500-BT)} = \frac{500}{(669,90+500-980,50)} = 2,64$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(B+Bk-BT)} = \frac{488,5}{(669,90+488,5-980,50)} = 2,58$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(500-Bk)}{(Bk)} \times 100\% = \frac{(500-488,5)}{(488,5)} \times 100\% = 2,35\%$$

Berdasarkan hasil percobaan didapatkan nilai rata-rata :

Berat jenis (bulk) = 2,58

Berat jenis kering permukaan jenuh = 2,64

Berat jenis semu = 2,58

Penyerapan = 2,25%

Kesimpulan :

Dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus didapat berat jenis sebesar 2,58 dan penyerapan 2,25%. Maka dari pengujian tersebut masih memenuhi syarat untuk berat jenis > 2,5 dan penyerapan < 3.

Agregat Sedang

a. Berat jenis bulk (Bulk Specific Gravity) = $\frac{Bk}{(Bj-Ba)}$

b. Berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surfaced dry) = $\frac{Bj}{(Bj-Ba)}$

c. Berat jenis semu (apparent specific gravity) = $\frac{Bk}{(Bk-Ba)}$

d. Penyerapan (absorsi) = $\frac{(Bj-Bk)}{(Bk)} \times 100\%$

Dimana :

Bk = berat benda uji kering oven (gram)

Bj = berat contoh kering permukaan jenuh

Ba = berat contoh di dalam air

Percobaan Sampel 1 :

$$B_k = 4915$$

$$B_j = 5000$$

$$B_a = 3126,50$$

Maka perhitungan :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} = \frac{4915}{(5000 - 3126,50)} = 2,62$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{B_j}{(B_j - B_a)} = \frac{5000}{(5000 - 3126,50)} = 2,67$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{(B_k - B_a)} = \frac{4915}{(4915 - 3126,50)} = 2,75$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(B_j - B_k)}{(B_k)} \times 100\% = \frac{(5000 - 4915)}{(4915)} \times 100\% = 1,73 \%$$

Percobaan Sampel 2 :

$$B_k = 4937,9$$

$$B_j = 5000$$

$$B_a = 3127,2$$

Maka perhitungan :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} = \frac{4937,9}{(5000 - 3127,20)} = 2,64$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{B_j}{(B_j - B_a)} = \frac{5000}{(5000 - 3127,20)} = 2,67$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{(B_k - B_a)} = \frac{4937,90}{(4937,9 - 3127,20)} = 2,73$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(B_j - B_k)}{(B_k)} \times 100\% = \frac{(5000 - 4937,20)}{(4937,90)} \times 100\% = 1,26 \%$$

Berdasarkan hasil percobaan didapatkan nilai rata-rata :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = 2,63$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = 2,67$$

$$\text{Berat jenis semu} = 2,74$$

$$\text{Penyerapan} = 1,49 \%$$

Kesimpulan :

Dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat sedang didapat berat jenis sebesar 2,63 dan penyerapan 1,49%. Maka dari pengujian tersebut masih memenuhi syarat untuk berat jenis $> 2,5$ dan penyerapan < 3 .

Agregat Kasar

a. Berat jenis bulk (Bulk Specific Gravity) = $\frac{B_k}{(B_j - B_a)}$

b. Berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surfaced dry) = $\frac{B_j}{(B_j - B_a)}$

c. Berat jenis semu (apparent specific gravity) = $\frac{B_k}{(B_k - B_a)}$

d. Penyerapan (absorsi) = $\frac{(B_j - B_k)}{(B_k)} \times 100\%$

Dimana :

B_k = berat benda uji kering oven (gram)

B_j = berat contoh kering permukaan jenuh

B_a = berat contoh di dalam air

Percobaan Sampel 1 :

$$B_k = 4889,8$$

$$B_j = 5000$$

$$B_a = 3148,40$$

Maka perhitungan :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} = \frac{4889,8}{(5000 - 3148,40)} = 2,64$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{B_j}{(B_j - B_a)} = \frac{5000}{(5000 - 3148,40)} = 2,70$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{(B_k - B_a)} = \frac{4889,8}{(4889,8 - 3148,40)} = 2,81$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(B_j - B_k)}{(B_k)} \times 100\% = \frac{(5000 - 4889,8)}{(4889,8)} \times 100\% = 2,25 \%$$

Percobaan Sampel 2 :

$$B_k = 4889,80$$

$$B_j = 5000$$

$$B_a = 3158,3$$

Maka perhitungan :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} = \frac{4889,80}{(5000 - 3158,30)} = 2,66$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{B_j}{(B_j - B_a)} = \frac{5000}{(5000 - 3158,30)} = 2,71$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{(B_k - B_a)} = \frac{4889,80}{(4889,80 - 3158,30)} = 2,82$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(B_j - B_k)}{(B_k)} \times 100\% = \frac{(5000 - 4889,80)}{(4889,80)} \times 100\% = 2,25 \%$$

Berdasarkan hasil percobaan didapatkan nilai rata-rata :

Berat jenis (bulk) = 2,65

Berat jenis kering permukaan jenuh = 2,71

Berat jenis semu = 2,82

Penyerapan = 2,25 %

Kesimpulan :

Dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat sedang didapat berat jenis sebesar 2,65 dan penyerapan 2,25 %. Maka dari pengujian tersebut masih memenuhi syarat untuk berat jenis $> 2,5$ dan penyerapan < 3 .

4.1.7 Pengujian Keausan Agregat dengan Alat Abrasi Los Angeles (AASHTO T-96-77 (1982))

Pengujian ini adalah untuk menentukan ketahanan agregat kasar yang lebih kecil dari 37,5 mm (1 ½") terhadap keausan menggunakan alat Los Angeles. Pengujian analisa saringan dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Keausan Agregat dengan Alat Abrasi *Los Angeles*

Gradasi pemeriksaan		B (fraksi 10 - 20 mm)			
Saringan		I		II	
Lolos	tertahan	Berat sebelum	Berat sesudah	Berat sebelum	Berat sesudah
76,20 mm (3")	63,50 mm (2,5")				
63,50 mm (2,5")	50,80 mm (2")				
50,80 mm (2")	37,50 mm (1,5")				
37,50 mm (1,5")	25,40 mm (1")				
25,40 mm (1")	19,00 mm (¾")				
19,00 mm (¾")	12,50 mm (½")				
12,50 mm (½")	9,50 mm (⅜")	2500			
9,50 mm (⅜")	6,30 mm (¼")	2500			
6,30 mm (¼")	4,75 mm (No. 4)				
4,75 mm (No. 4)	2,38 mm (No. 8)				
Jumlah berat		5000			
Berat tertahan saringan no 12			4080,3		

		I	II	
a	Berat benda uji semula	5000		gram
b	Berat benda uji tertahan s/d saringan No.12	4080,3		gram
	Keausan : $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$	18,39		%

Catatan : Keausan = 19.95% < 40%

4.1.7.1 Hasil Pengujian

Perhitungan :

$$\text{Nilai keausan Los Angeles} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

Dimana :

a = berat benda uji semula (gram)

b = berat benda uji tertahan disaringan No. #12 dan No. #4 (gram)

Keausan dilaporkan sebagai bilangan bulat dalam persen.

$$\text{Nilai keausan Los Angeles} = (5000 - 4002,5) / 5000 \times 100\% = 19,95\%$$

Kesimpulan :

Dari hasil percobaan didapatkan nilai keausan Los Angeles = 19,95%, maka memenuhi syarat ketahanan agregat kasar terhadap keausan karena < 40%, apabila lebih dari 40% maka agregat tersebut lunak yang artinya tidak dapat digunakan.

4.2 Hasil Pengujian Aspal

4.2.1 Pengujian Penetrasi Aspal (AASHTO T-49-80) (ASTM D-5-71)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum ukuran tertentu, beban, dan waktu tertentu ke dalam bitumen pada suhu tertentu. Aspal yang digunakan aspal penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina. Pengujian penetrasi dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal Sebelum Kehilangan Berat

Persiapan Contoh	Contoh di panaskan	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 06.35 WIB	150 °C
	Selesai jam : 07.00 WIB	

Mencapai suhu pemeriksaan	Contoh di panaskan	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 08.10 WIB	150 °C
	Selesai jam	

Pemeriksaan	Penetrasi pada suhu 25oC	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 09.40 WIB	150 °C
	Selesai jam : 10.10 WIB	

Penetrasi pada 25oC dengan beban 100 gr, jangka waktu 5 detik :

Pengamatan	1	2	3	4	5
Benda uji I	60	62	64	65	68
Benda uji II	61	61	63	64	66
Benda uji III					
Rata-rata	63				

Catatan : Rata-rata presentasi = 63 (10^{-1} mm)

4.2.1.1 Hasil Pengujian

Nilai penetrasi dinyatakan sebagai rata – rata dari sekurang-kurangnya 3 pembacaan dengan ketentuan bahwa hasil – hasil pembacaan tidak melampaui ketentuan persyaratan.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal Sesudah Kehilangan Berat

Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C	Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam : 14.00 WIB	25 °C
	Selesai jam : 15.30 WIB	

Pemeriksaan	Penetrasi pada suhu 25°C	Pembacaan suhu termometer
	Mulai jam : 15.32 WIB	25 °C
	Selesai jam : 16.05 WIB	

Penetrasi pada 25°C dengan beban 100 gr, jangka waktu 5 detik :

Pengamatan	1	2	3	4	5
Benda uji I	63	64	66	68	68
Benda uji II	56	57	60	61	62
Benda uji III					
Rata-rata	62,50				

Catatan : Rata-rata penetrasi setelah kehilangan berat = 62,5 (10-1 mm) (98,58% dari penetrasi sebelum kehilangan berat)

Kesimpulan :

1. Hasil pengujian penetrasi aspal sebelum kehilangan berat didapatkan nilai rata – rata sebesar 63.
2. Hasil pengujian penetrasi aspal setelah kehilangan berat didapatkan nilai rata – rata sebesar 62,5.
3. Dari kedua pengujian tersebut $\frac{62,5}{63} \times 100\% = 98,58\%$, dengan persyaratan sesudah kehilangan berat minimal 75% dan sebelum kehilangan berat minimal 79% sehingga hasil pengujian memenuhi persyaratan.

4.2.2 Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar (AASHTO T 48-81) (ASTM D-92-52)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan titik nyala dan titik bakar dari semua hasil minyak bumi kecuali minyak bakar dan bahan – bahan lainnya yang mempunyai titik nyala oven cup kurang dari 79⁰C. Titik nyala adalah suhu pada saat terlihat nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan aspal. Titik bakar adalah suhu terlihat nyala sekurang – kurangnya 5 detik pada suatu titik di atas permukaan aspal. Pengujian penetrasi dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 06.35 WIB	150 °C
	Selesai jam : 07.00 WIB	

Menuang contoh	Penuangan contoh	Pembacaan suhu menuang
	Mulai jam : 07.00 WIB	150 °C
	Selesai jam : 07.10 WIB	

Kenaikan suhu contoh	Sampai 56°C di bawah titik nyala	
	Mulai jam : 16.05 WIB	15°C per menit
	Selesai jam : 16.15 WIB	
	antara 56 s/d 28°C di bawah titik nyala	
	Mulai jam : 16.15 WIB	5°C s/d 6°C per menit
	Selesai jam : 16.45 WIB	
Titik nyala perkiraan = 340 °C		

°C di bawah titik nyala	Waktu	°C	Titik Nyala
56	16.30 WIB	264	
51	16.31 WIB	269	
46	16.32 WIB	274	
41	16.34 WIB	279	
36	07.33 WIB	284	
31	07.35 WIB	289	
26	07.36 WIB	294	289 nyala
21			290 bakar
16			
11			
6			
1			

Catatan : Titik nyala = 289 °C, Titik bakar = 290 °C

4.2.2.1 Hasil Pengujian

Hasil rata-rata pengujian ganda (duplo) dilaporkan sebagai titik nyala pada benda uji sebagai berikut :

07.35", (289) Titik Nyala

07.36", (290) Titik Bakar

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian, titik nyala didapatkan sebesar 289⁰C yaitu pada saat kondisi alat penguji menyala dan titik bakar 290⁰C, dan dimana titik nyala telah memenuhi persyaratan aspal keras dengan penetrasi 60/70 yaitu minimal 232⁰C.

4.2.3 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal

Pengujian ini untuk menentukan titik lembek aspal yang berkisar antara 30⁰C sampai 200⁰C. Yang dimaksud dengan titik lembek adalah suhu pada saat bola baja dengan berat tertentu, sehingga aspal dan tersebut menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi tertentu, sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16.

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Sebelum Kehilangan Berat

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan		Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam	: 06.35 WIB	150 °C
	Selesai jam	: 07.00 WIB	
Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai jam	: 07.10 WIB	
	Selesai jam	: 08.10 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Didiamkan pada suhu 5°C		Pembacaan suhu es
	Mulai jam	: 09.40 WIB	0 °C
	Selesai jam	: 10.03 WIB	
Pemeriksaan titik lembek	Mulai jam	: 10.03 WIB	
	Selesai jam	: 10.28 WIB	

Suhu yang diamati		Waktu		Titik lembek °C	
°C	°F	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji I	Benda Uji II
0		10.03	10.03		
5		10.11	10.11		
10		10.14	10.14		
15		10.17	10.17		
20		10.19	10.19		
25		10.21	10.21		
30		10.22	10.22		
35		10.24	10.24		
40		10.25	10.25		
45		10.27	10.27		
50		10.28	10.28	10.28 (50°C)	10.28 (50,5°C)

Catatan : Titik lembek sebelum kehilangan berat = 54⁰C dalam 24 menit pemeriksaan

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Setelah Kehilangan Berat

Mendinginkan Contoh	Didiamkan pada suhu ruang
	Mulai jam : 16.00 WIB
	Selesai jam : 17.00 WIB

Mencapai suhu pemeriksaan	Didiamkan pada suhu 5 ⁰ C	Pembacaan Suhu Es
	Mulai jam : 18.30 WIB	0 ⁰ C
	Selesai jam : 18.45 WIB	

Pemeriksaan Titik Lembek	Mulai jam : 18.45 WIB
	Selesai jam : 19.05 WIB

Suhu yang diamati		Waktu		Titik Lembek ⁰ C	
⁰ C	⁰ F	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji I	Benda Uji II
0		13,33	13,33		
5		13,41	13,41		
10		13,45	13,45		
15		13,48	13,48		
20		13,50	13,50		
25		13,52	13,52		
30		13,53	13,53		
35		13,55	13,55		
40		13,57	13,57		
45		13,58	13,58		
50		14,00	14,00	14,00 (49 ⁰ C)	14,00 (51 ⁰ C)

<p>Catatan :</p> <p>Titik lembek setelah kehilangan berat = 50⁰C dalam 20 menit pemeriksaan</p>
--

4.2.3.1 Hasil Pengujian

Suhu pada saat setiap bola baja menyentuh pelat dasar dilaporkan, suhu titik lembek bahan bersangkutan dari hasil pengamatan rata – rata dilaporkan dan dibulatkan sampai 0,5⁰C terdekat untuk tiap percobaan ganda (duplo).

Kesimpulan :

Hasil pengamatan titik lembek aspal sebelum kehilangan berat adalah 54⁰C, sedangkan pada pemeriksaan titik lembek sesudah kehilangan berat adalah 50⁰C. Hasil tersebut telah memenuhi persyaratan Depkimpraswil 2002 untuk titik lembek aspal yang ditentukan yaitu minimum 48⁰C dan maksimum 58⁰C.

4.2.4 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal (AASHTO T-51-81)

Pengujian ini adalah untuk mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tertarik. Fungsi dari pengujian ini untuk mengetahui sifat getas dari aspal tersebut, aspal yang digunakan aspal penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina.

Tabel 4.17 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal Sebelum Kehilangan Berat

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 06.35 WIB	150 °C
	Selesai jam : 07.00 WIB	
Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang	
	Mulai jam : 07.10 WIB	
	Selesai jam : 08.10 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C	Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam : 08.10 WIB	25 °C
	Selesai jam : 09.40 WIB	
Pemeriksaan Daktilitas	Mulai jam : 09.42 WIB	Pembacaan suhu alat
	Selesai jam : 10.12 WIB	25°C

Daktilitas pada 25°C dengan kecepatan mesin 5 cm per menit :

Pengamatan	1	2
Pembacaan	> 100 cm	> 100 cm
Rata-rata	> 100 cm	

Catatan : Daktilitas => 100 cm

Tabel 4.18 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal Setelah Kehilangan Berat

Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang	
	Mulai jam : 13.00 WIB	
	Selesai jam : 14.00 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C	Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam : 15.00 WIB	25 °C
	Selesai jam : 16.30 WIB	
Pemeriksaan Daktilitas	Mulai jam : 16.30 WIB	Pembacaan suhu alat
	Selesai jam : 17.00 WIB	25°C

Daktilitas pada 25°C dengan kecepatan mesin 5 cm per menit :

Pengamatan	1	2
Pembacaan	> 100 cm	> 100 cm
Rata-rata	> 100 cm	

Catatan : Daktilitas setelah kehilangan berat => 100 cm

4.2.4.1 Hasil Pengujian

Hasil rata-rata dari tiga benda uji normal diamati sebagai harga daktilitas contoh tersebut. Apabila benda uji menyetuh dasar mesin uji atau terpanjang pada permukaan air maka pengujian dianggap gagal dan tidak normal. Untuk menghindari hal semacam ini maka berat jenis air harus disesuaikan dengan berat jenis benda uji dengan menambah methyl alkohol atau sodium klorida.

Kesimpulan :

1. Hasil pengujian daktilitas aspal sebelum dan sesudah kehilangan berat didapatkan nilai rata-rata sebesar lebih dari 100cm
2. Kedua daktilitas tersebut memenuhi syarat Depkimpraswil 2002 yaitu minimum 100 cm

4.2.5 Pengujian Berat Jenis Bitumen Keras (AASHTO T-51-81)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis bitumen keras dengan piknometer. Berat jenis bitumen adalah perbandingan antara berat bitumen adan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Fungsi dari pengujian ini untuk mengetahui kemurnian aspal tersebut tanpa tercampur bahan lain. Aspal yang digunakan aspal penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina. Pengujian berat jenis aspal dan ter dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil Pengujian Berat Jenis Bitumen Keras

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 06.35 WIB	150 °C
	Selesai jam : 07.00 WIB	
Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang	Pembacaan suhu ruang
	Mulai jam : 07.10 WIB	27 °C
	Selesai jam : 08.10 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C	Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam : 08.10 WIB	25 °C
	Selesai jam : 09.40 WIB	
Pemeriksaan Berat Jenis	Mulai jam : 09.40 WIB	Pembacaan suhu water bath
	Selesai jam : 09.45 WIB	25°C
	Sampel I	Sampel II
Berat piknometer + air	65	65,4
Berat piknometer	28,6	28,7
Berat air (= isi piknometer)	36,4	36,7
Berat piknometer + contoh	53,3	54,5

Berat piknometer	28,6	28,7
Berat contoh	24,7	25,8
Berat pikno + air + contoh	65,7	66,1
Berat piknometer + contoh	53,3	54,5
Berat air	12,4	11,6
Isi bitumen	24	25,1
Berat Jenis : $\frac{\text{Berat contoh}}{\text{Berat air sebanyak isi bitumen}}$	1,03	1,03

Catatan :

Berat jenis = 1,03

4.2.5.1 Hasil Pengujian

Hitunglah berat jenis dengan rumus :

$$BJ = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$$

Dimana :

- A = berat piknometer (dengan penutup) (gr)
- B = berat piknometer berisi air (gr)
- C = berat piknometer berisi aspal (gr)
- D = berat piknometer berisi aspal dan air (gr)

Kesimpulan :

Hasil pengujian berat jenis aspal penetrasi 60/70 pada sampel I di dapatkan sebesar 1,03 dan sampel II didapatkan 1,03 dari kedua sampel diambil rata-rata didapatkan sebesar 1,03, dari hasil pengujian tersebut telah memenuhi persyaratan Depkimpraswil 2002 untuk pengujian berat jenis aspal yang ditentukan sebesar yaitu minimum 1.

4.2.6 Hasil Pengujian Penurunan Berat Minyak Dan Aspal (AASHTO T-226-79)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kadar minyak yang terkandung didalam aspal, semakin lama aspal terkena panas akan semakin turun kadar minyaknya. Aspal yang digunakan aspal penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina. Pengujian penurunan berat minyak dan aspal dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.20.

Tabel 4.20 Hasil pengujian Penurunan Berat Minyak Dan Aspal

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 06.35 WIB	150 °C
	Selesai jam : 07.00 WIB	
Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang	Pembacaan suhu ruang
	Mulai jam : 07.03 WIB	26 °C
	Selesai jam : 08.00 WIB	
Pemeriksaan kehilangan berat pada 163°C	Mulai jam : 08.00 WIB	Pembacaan suhu dlm contoh
	Selesai jam : 13.00 WIB	163 °C

	Sampel I	Sampel II	Sampel III	Sampel IV
Berat cawan + aspal keras	65,9	64,4	66,6	
Berat cawan kosong	13,2	13,1	9,6	
Berat aspal keras	52,7	51,3	57	
Berat sebelum pemanasan	65,9	64,4	66,6	
Berat sesudah pemanasan	65,9	64,4	66,5	

Kehilangan berat	0	0	0,1	
Kehilangan berat dlm %	0,000	0,000	0,150	
Rata-rata (%)	0,050			

Catatan :

Kehilangan berat rata-rata =
0,05 %

4.2.6.1 Hasil Pengujian

Hitunglah penurunan berat dengan rumus :

$$\text{Penurunan berat} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Dimana :

A = berat cawan + contoh sebelum diuji(gr)

B = berat cawan + contoh setelah diuji (gr)

Untuk Thin Film Oven Test bandingkan nilai penetrasi, titik lembek dan daktilitas sebelum dan setelah dimasukkan dalam oven. Perhitungan :

Pada Sampel III:

A = 66,6

B = 66,5

Penurunan berat = $66,6 - 66,5 \times 100\% = 0,15\%$

Rata – rata = $(0+0+0,15\%)/3 = 0,05\%$

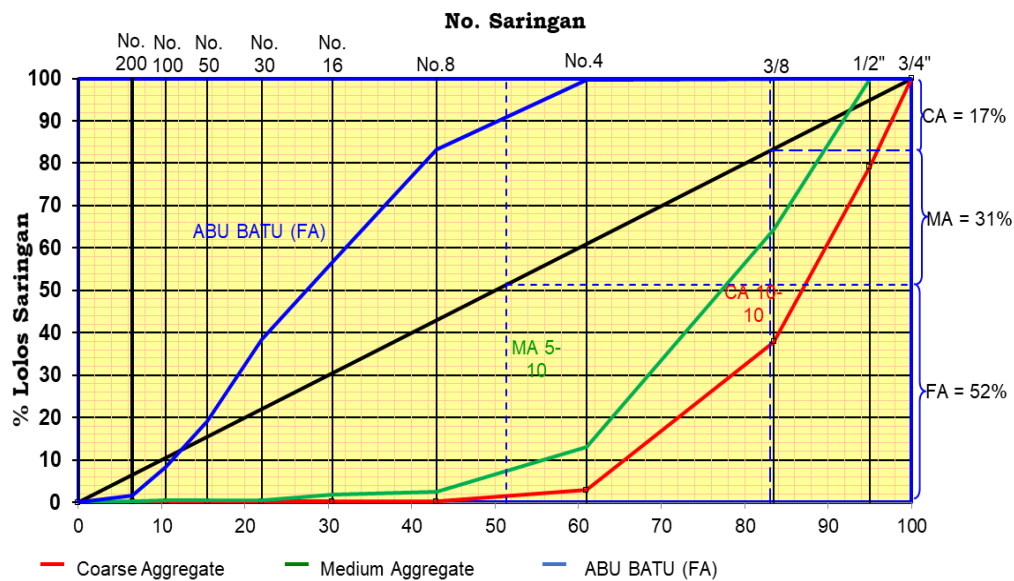
Dengan cara rata – rata didapatkan hasil pengujian untuk Sampel I, II, dan III adalah 0,05%. Kesimpulan : Hasil pengujian penurunan berat minyak dan aspal dan aspal didapatkan nilai sebesar 0,05% maka aspal tersebut memenuhi persyaratan Depkimprawil 2002 yaitu maksimum 0,4%.

4.3 Perencanaan Komposisi Campuran

4.3.1 Perhitungan Persentase Agregat Dengan Metode Grafis

Setelah dilakukan pemeriksaan dan analisa gradasi untuk mengetahui berat dan prosentase agregat yang lolos pada masing-masing saringan, maka selanjutnya dihitung proporsi agregat dalam campuran dengan menggunakan metode Grafis seperti pada grafik dan tabel komposisi campuran agregat dibawah ini :

Grafik 4.1 Grafik Diagonal Komposisi Campuran Agregat



Dengan cara coba-coba

- Garis I (Garis putus-putus kiri) : 9 % FA = 1 % CA + 8 % MA
- Garis 2 (Garis putus-putus kanan) : 38 % MA = 38% CA
- Garis 1 dengan garis diagonal didapatkan : FA = 52 %
- Garis 2 dengan garis diagonal didapatkan : CA = 17 %

Sehingga,

$$MA = 100 \% - FA - CA$$

$$MA = 100 \% - 52 \% - 17\%$$

$$MA = 31\%$$

Hasil dari plot grafik di atas didapatkan persentase agregat yang belum termasuk Filler (FF) sebagai berikut :

CA = 17%

MA = 31%

FA = 52 %

Tabel 4.21 Komposisi Campuran Persentase Agregat Spesifikasi AC-WC

ukuran saringan	10/20	10/10	5/10	0/5	FF	10/20	10/10	5/10	0/5	FF	total	spek
	%lolos	%lolos	%lolos	%lolos	%lolos	0.00	15.98	29.14	48.88	6.00		
3/4"		100.00	100.00	100.00	100.00		15.98	29.14	48.88	6.00	100.00	100.00
1/2"		79.13	100.00	100.00	100.00		12.64	29.14	48.88	6.00	96.66	90-100
3/8"		37.88	64.33	100.00	100.00		6.05	18.75	48.88	6.00	79.68	77-90
No.4		2.90	13.01	99.76	100.00		0.46	3.79	48.76	6.00	59.02	53-69
No.8		0.17	2.56	83.28	100.00		0.03	0.75	40.71	6.00	47.48	33-53
No.16		0.16	1.79	56.60	100.00		0.02	0.52	27.67	6.00	34.21	21-40
No.30		0.14	0.49	38.41	100.00		0.02	0.14	18.78	6.00	24.94	14-30
No.50		0.13	0.44	19.05	100.00		0.02	0.13	9.31	6.00	15.46	9-22
No.100		0.12	0.39	8.37	100.00		0.02	0.11	4.09	6.00	10.22	6-15
No.200		0.06	0.33	1.66	100.00		0.01	0.10	0.81	6.00	6.92	4-9

Langkah Perhitungan untuk menentukan kadar Agregat dengan menggunakan Filler 6% :

$$\begin{aligned}
 - \quad CA_2 &= CA_1 \times \left(\frac{100-FF}{100} \right) \\
 &= 17 \times \left(\frac{100-6}{100} \right) = 15,98\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad MA_2 &= MA_1 \times \left(\frac{100-FF}{100} \right) \\
 &= 31 \times \left(\frac{100-6}{100} \right) = 29,14 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad FA_2 &= FA_1 \times \left(\frac{100-FF}{100} \right) \\
 &= 52 \times \left(\frac{100-6}{100} \right) = 48,88\%
 \end{aligned}$$

Maka didapatkan prosentase campuran % CA_2 + % MA_2 + % FA_2 + % FF = 100%

$$15,98\% + 29,14\% + 48,88\% + 6,00\% = 100\%$$

4.4 Komposisi Campuran Untuk Variasi Aspal

Setelah Proporsi masing-masing agregat diketahui, maka dilakukan perhitungan kadar aspal awal yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam menentukan variasi kadar aspal. Variasi kadar aspal berdasarkan Depkimpraswil 2002 dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = 0,035 \times (CA_2 + MA_2) + (0,045 \times FA_2) + (0,18 \times FF) + K$$

Dimana :

P = kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran

CA = persen agregat tertahan saringan no.8

FA = persen agregat lolos saringan no.8 dan tertahan saringan no.200

FF = Persen agregat minimal 75 % lolos saringan no.200

K = konstanta (0,5-1 untuk laston dan 2-3 untuk lataston)

Persentase agregat komposisi spesifikasi AC-WC sebagai berikut :

CA = 15,98 %

FA = 48,88 %

MA = 29,14 %

FF = 6,00 %

Berdasarkan rumus di atas, pada komposisi campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) didapat nilai aspal tengah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= 0,035 \times (CA_2 + MA_2) + (0,045 \times FA_2) + (0,18 \times FF) + 0,75 \\ &= 0,035 \times (15,98 + 29,14) + (0,045 \times 48,88) + (0,18 \times 6,00) + 0,75 \\ &= 5,61 \gg \text{Dibulatkan menjadi } 6,0 \text{ (Konstanta).} \end{aligned}$$

Jika kadar aspal yang diperoleh dibulatkan menjadi a%, maka digunakan variasi (a-1)%, (a-0,5)%, (a)%, (a+0,5)%, (a+0,5)% dan (a+1)%, untuk mencari kadar aspal optimum dengan asphalt tengah 6 % dibuat dengan 5 variasi kadar aspal sebagai berikut:

5 %, 5,5 %, 6 % , 6,5 %, 7 %

Tabel 4.22 Perencanaan Komposisi Campuran

Persentase Aspal		5	5.5	6	6.5	7
CA 10/20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CA 10/15	15.98	182.17	181.21	180.25	179.30	178.34
MA 5/10	29.14	332.20	330.45	328.70	326.95	325.20
FA 0/5	48.88	557.23	554.30	551.37	548.43	545.50
FF	6.00	68.40	68.04	67.68	67.32	66.96
total	100.00	1140	1134	1128	1122	1116
	brt aspal	60	66	72	78	84
	brt agregat	1140	1134	1128	1122	1116

Contoh perhitungan untuk variasi kadar aspal 5 %

Kadar aspal total yang dibutuhkan :

$$\text{Kadar Aspal } 5\% \times 1200 = 60 \text{ gr}$$

$$\text{Total Berat} = 1200 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Total Agregat} = 1140 \text{ gr}$$

$$\text{Agregat Kasar} = 15,98 \% \times 1140 = 182,17 \text{ gr}$$

$$\text{Agregat Sedang} = 29,14 \% \times 1140 = 332,20 \text{ gr}$$

$$\text{Agregat Halus} = 48,88 \% \times 1140 = 557,23 \text{ gr}$$

$$\text{Filler} = 6,00 \% \times 1140 = \underline{68,40 \text{ gr} +}$$

$$= 1200 \text{ gr}$$

4.5 Marshall Test

4.5.1 Maksud dan Tujuan

Metode pengujian campuran aspal ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian campuran aspal dengan alat Marshall. Sedangkan tujuan dari pengujian ini adalah untuk menyeragamkan cara mendapat suatu campuran aspal. Hasil-hasil dari pengujian dijadikan acuan dalam mendapatkan kadar aspal optimum (KAO).

4.5.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian Marshall Test didapatkan nilai-nilai sebagai berikut:

- a. Stabilitas (Kg)
- b. Flow (mm)
- c. Prosentase rongga terhadap campuran VIM (%)
- d. Prosentase rongga terhadap agregat VMA (%)
- e. Prosentase rongga terhadap aspal VFB (%)
- f. Marshall Quotient (Kg/mm)

Nilai stabilitas Marshall ditunjukkan dengan beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji sebelum terjadi kerutuhan. Sedangkan nilai flow ditentukan oleh besarnya nilai deformasi pada saat pembacaan arloji ketika terjadi beban maksimum yang diterima benda uji sebelum kerutuhan.

Dari data tersebut di atas, selanjutnya dibuat grafik hubungan antara lain :

- a. Persentase Aspal (%) terhadap Stabilitas (Kg)
- b. Persentase Aspal (%) terhadap Flow (mm)
- c. Persentase Aspal (%) terhadap VIM (%)
- d. Persentase Aspal (%) terhadap VMA (%)
- e. Persentase Aspal (%) terhadap VFB (%)
- f. Persentase Aspal (%) terhadap Marshall Quotient (Kg/mm)

BAB V

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan pengujian campuran ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian campuran aspal dengan alat marshall. Hasil-hasil dari pengujian dilakukan untuk mendapatkan penyusun campuran aspal yang optimum.

Dari Hasil *Marshall test* didapatkan data-data sebagai berikut :

- a. Stabilitas (kg)
- b. Flow (mm)
- c. Prosentase rongga terhadap campuran VIM (%)
- d. Prosentase rongga dalam agregat VMA (%)
- e. Marshall Quotient (Kg/mm)
- f. Indeks perendaman

Nilai stabilitas Marshall ditunjukan dengan beban maksimum yang mampu dipikul oleh benda uji sebelum terjadi keruntuhan. Sedangkan nilai flow ditentukan oleh besarnya nilai deformasi yang dibaca pada arloji saat terjadi beban maksimum yang diterima benda uji sebelum terjadi keruntuhan.

Dari data-data tersebut diatas, selanjutnya dibuat grafik-grafik hubungan antara :

- a. Prosentase Aspal (%) terhadap Stabilitas.
- b. Prosentase Aspal (%) terhadap Flow
- c. Prosentase Aspal (%) terhadap VIM.
- d. Prosentase rongga dalam agregat VMA (%)
- e. Marshall Quotient (Kg/mm)
- f. Indeks perendaman

5.1 Campuran AC-WC mencari Kadar Aspal Optimum

5.1.1 Data Hasil Test Marshall

Hasil pengujian marshall dihitung menggunakan software Microsoft Excel XP dan hasilnya ditabelkan. Data-data yang ditampilkan dalam tabel hasil uji test marshall sebagai berikut:

$$\text{Kadar Aspal} = 5 \%$$

$$\text{Nomor benda uji} = 1$$

$$a = \text{Diameter (cm)} = 10,19 \text{ cm}$$

$$b = \text{Tinggi 1 (cm)} = 6,61 \text{ cm}$$

$$c = \text{Tinggi 2 (cm)} = 6,72 \text{ cm}$$

$$d = \text{Tinggi 3 (cm)} = 6,69 \text{ cm}$$

$$e = \text{Tinggi 4 (cm)} = 6,62 \text{ cm}$$

$$f = \text{Tinggi rata-rata (mm)} = \left(\frac{b+c+d+e}{4} \right) \times 10$$

$$= \left(\frac{6,61+6,72+6,69+6,62}{4} \right) \times 10 = 6,66 \text{ cm} = 66,60 \text{ mm}$$

$$g = \% \text{ aspal terhadap agregat} = \frac{\% \text{Aspal}}{1200 - \% \text{Aspal}} \times 100$$

$$= \frac{5\% \times 1200}{1200 - (5\% \times 1200)} \times 100 = 5,26\%$$

$$h = \% \text{ Aspal Terhadap Campuran} = 5\%$$

$$i = \text{Berat sampel (gram)} = 1174,4 \text{ gram}$$

$$j = \text{Berat SSD (gram)} = 1180,0 \text{ gram}$$

$$k = \text{Berat dalam air (gram)} = 675,7 \text{ gram}$$

$$l = \text{isi (gram)} = \text{Berat SSD} - \text{Berat dalam air} = 504,30 \text{ gram}$$

$$m = \text{Berat isi} = \frac{i}{l} = \frac{1174,4}{504,30} = 2,329 \text{ gr/cm}^3$$

$$n = \text{Berat jenis maksimum teoritis} = \frac{100}{\frac{\% \text{agregat}}{\text{BJ agregat}} + \frac{\% \text{aspal}}{\text{bj aspal}}}$$

$$= \frac{100}{\frac{\left(\frac{17 \times \frac{100-5}{100}}{2,65} \right) + \left(\frac{31 \times \frac{100-5}{100}}{2,63} \right) + \left(\frac{52 \times \frac{100-5}{100}}{2,58} \right) + \left(\frac{5}{1,03} \right)} = 2,422$$

$$o = \frac{\% \text{ Aspal Thd Campuran} \times \text{Berat Isi}}{\text{bj aspal}} = \frac{5 \times 2,239}{1,03} = 11,321$$

$$p = \frac{(100 - \% \text{ Aspal Thd Campuran}) \times \text{Berat Isi}}{\text{bj agregat}}$$

$$= \frac{(100-5) \times 2,329}{2,608} = 84,840$$

$$q = \text{jumlah kandungan rongga (\%)} = 100 - o - p \\ = 100 - 11,321 - 84,840 = 3,839$$

$$r = \% \text{ Rongga terhadap agregat VMA} = 100 - p \\ = 100 - 84,840 = 15,160$$

$$s = \% \text{ Rongga terisi aspal VFB} = \frac{100 \times o}{r} = \frac{100 \times 11,321}{15,160} = 74,675$$

$$u = \% \text{ Rongga dalam campuran VIM} = 100 - \left[100x \left(\frac{m}{n} \right) \right] \\ = 100 - \left[100x \left(\frac{2,329}{2,422} \right) \right] = 3,829$$

$$t = \text{pembacaan arloji stabilitas} = 70,00$$

$$v = \text{lbf} = t \times \text{kalibrasi alat} = 2058,00$$

$$w = \text{kg} = v \times 0,44482 = 915,44$$

$$x = \text{koreksi (tebal)} = 0,920$$

$$y = \text{stabilitas (lbf) (dengan koreksi)} = v \times x \\ = 2058,00 \times 0,92 = 1893,70$$

$$z = \text{stabilitas (kg) (dengan koreksi)} = w \times x \\ = 915,44 \times 0,92 = 842,36$$

$$aa = \text{Flow (mm)} = 4,9 \text{ mm}$$

$$ab = \text{marshall Quotient (kg/mm)} \\ = \frac{z}{aa} = 171,91 \text{ kg/mm}$$

Selanjutnya untuk sampel dan kadar aspal yang lainnya hasil pengujian marshall di hitung menggunakan software Microsoft Exel XP dan hasilnya diperlihatkan pada Tabel 5.1

5.1.2 Perhitungan Interval Kepercayaan

Pada penelitian ini di gunakan derajat kepercayaan 95% (= 0,95). Derajat kepercayaan ini di gunakan untuk menentukan nilai-nilai yang berada di dalam interval kepercayaan.

Data stabilitas 5%

$$\text{Rata-rata nilai stabilitas } (\bar{X}) = \frac{\sum xi}{n} = \frac{5119,142}{5} = 1023,828$$

n (jumlah data) = 5

Simpangan baku (s) :

Tabel 5.2 Nilai untuk mencari nilai simpangan baku

Xi	Xi - X	(Xi-X) ²
842.358	-181.471	32931.585
1095.269	71.440	5103.706
1074.715	50.887	2589.453
945.483	-78.346	6138.084
1161.318	137.490	18903.403
$\sum (Xi-X)^2$		65666.231

$$\text{Varian } (S^2) = \frac{\sum (xi-\bar{x})^2}{n-1} = \frac{65666.231}{5-1} = 16416.56$$

$$\text{Simpangan Baku } (S) = \sqrt{16416.56} = 128.127$$

Derajat Kepercayaan (γ) = 0,95

$$\text{Peluang } (p) = \frac{1}{2}(1+0,95) = 0,975$$

$$\text{Derajat Kebebasan } (dk) = n-1 = 5-1 = 4$$

Untuk $p = 0,975$ dan untuk $dk = 4$ di dapat $t_{0,975} = 2,78$

Interval kepercayaan data stabilitas :

$$x - (t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}}) < \mu < x + (t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}})$$

$$1023,828 - (2,78 \times \frac{128.127}{\sqrt{5}}) < \mu < 1023,828 + (2,78 \times \frac{128.127}{\sqrt{5}})$$

$$864.534 < \mu < 1183.123$$

Didapat 95% interval kepercayaan adalah $864.534 < \mu < 1183.123$ jadi dapat di katakan bahwa 95% yakin (percaya) bahwa data yang di miliki dalam interval dengan batas 864.534 dan 1183.123. Selanjutnya untuk variasi kadar aspal yang lain di perlihatkan pada tabel 5.3

Tabel 5.3 Interval Kepercayaan Data Stabilitas


Kadar Aspal	x	s	p	dk	t _{0,975}	Interval Kepercayaan
5%	1023.828	128.127	0.975	4	2.78	$864.534 < \mu < 1183.123$
5.50%	1129.581	76.255	0.975	4	2.78	$1034.777 < \mu < 1224.385$
6%	1266.334	139.577	0.975	4	2.78	$1092.805 < \mu < 1439.863$
6.50%	1216.843	95.694	0.975	4	2.78	$1097.871 < \mu < 1335.815$
7%	1189.609	102.050	0.975	4	2.78	$1062.735 < \mu < 1316.484$

Nilai-nilai stabilitas dari sampel benda uji kemudian divalidasi dengan interval kepercayaan, dimana nilai yang berada diluar batas-batas interval kepercayaan untuk selanjutnya tidak di pergunakan kembali. Rata-rata nilai stabilitas dari data sampel setelah dilakukan validasi data diperlihatkan pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Tabel Validitas Data Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Interval Kepercayaan		Data Stabilitas Hasil Test Marshall					Rata-rata data setelah Validasi (kg)
	Batas Minimum	Batas Maksimum	1	2	3	4	5	
5%	864.534	1183.123	842.358	1095.269	1074.715	945.483	1161.318	1069.196
5.5%	1034.777	1224.385	1172.122	1182.853	1192.365	1017.930	1082.636	1157.494
6%	1092.805	1439.863	1345.259	1208.753	1395.177	1333.549	1048.933	1320.685
6.5%	1097.871	1335.815	1072.547	1184.691	1267.032	1326.259	1233.686	1252.917
7%	1062.735	1316.484	1137.879	1353.852	1208.172	1163.252	1084.891	1148.549

Keterangan :

 : Data diluar batas interval kepercayaan

Untuk interval kepercayaan data Flow, VIM, VMA, Marshall Quotient, dan Stabilitas 24 jam diperlihatkan pada Tabel 5.5 – 5.10.

Tabel 5.5 Interval Kepercayaan Data Flow

Kadar Aspal	x	s	p	dk	t _{0,975}	Interval Kepercayaan	Validitas Data
5%	3.86	1.119	0.975	4	2.78	$2.468 < \mu < 5.252$	3.860
5.50%	2.74	0.483	0.975	4	2.78	$2.140 < \mu < 3.340$	2.575
6%	3.26	0.868	0.975	4	2.78	$2.181 < \mu < 4.339$	3.260
6.50%	3.4	0.524	0.975	4	2.78	$2.748 < \mu < 4.052$	3.400
7%	3.98	0.947	0.975	4	2.78	$2.803 < \mu < 5.157$	3.980

Tabel 5.6 Interval Kepercayaan Data VIM

Kadar Aspal	x	s	p	dk	t _{0,975}	Interval Kepercayaan	Validitas Data
5%	4.723	0.649	0.975	4	2.78	$3.917 < \mu < 5.530$	4.723
5.50%	4.256	0.454	0.975	4	2.78	$3.692 < \mu < 4.820$	4.405
6%	3.799	0.407	0.975	4	2.78	$3.294 < \mu < 4.305$	3.647
6.50%	3.371	0.458	0.975	4	2.78	$2.801 < \mu < 3.940$	3.388
7%	3.405	0.470	0.975	4	2.78	$2.820 < \mu < 3.989$	3.230

Tabel 5.7 Interval Kepercayaan Data VMA

Kadar Aspal	x	s	p	dk	t _{0,975}	Interval Kepercayaan	Validitas Data
5%	15.949	0.572	0.975	4	2.78	$15.237 < \mu < 16.661$	15.948
5.50%	16.576	0.395	0.975	4	2.78	$16.084 < \mu < 17.067$	16.706
6%	17.207	0.350	0.975	4	2.78	$16.772 < \mu < 17.643$	17.076
6.50%	17.858	0.389	0.975	4	2.78	$17.374 < \mu < 18.342$	17.872
7%	18.892	0.395	0.975	4	2.78	$18.401 < \mu < 19.383$	18.746

Tabel 5.8 Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient

Kadar Aspal	x	s	p	dk	t _{0,975}	Interval Kepercayaan	Validitas Data
5%	289.707	106.669	0.975	4	2.78	$157.089 < \mu < 422.324$	289.707
5.50%	419.239	52.945	0.975	4	2.78	$353.415 < \mu < 485.062$	437.863
6%	413.213	129.052	0.975	4	2.78	$252.769 < \mu < 573.657$	370.292
6.50%	363.965	57.834	0.975	4	2.78	$292.063 < \mu < 435.867$	344.806
7%	311.539	68.907	0.975	4	2.78	$225.870 < \mu < 397.208$	333.645

Tabel 5.9 Rata-rata Hasil Perhitungan Test Marshall Setelah Diadakan Koreksi Validitas Data

Nilai Karakteristik	Kadar Aspal					Batas Diterima
	5%	5.5%	6%	6.5%	7%	
Stabilitas (kg)	1069.196	1157.494	1320.685	1252.917	1148.549	≥ 800
Flow (mm)	3.860	2.575	3.260	3.400	3.980	≥ 2
VIM (%)	4.723	4.405	3.647	3.388	3.230	3.9 - 4.9
VMA (%)	15.948	16.706	17.076	17.872	18.746	≥ 15
Marshall Quotient (kg/mm)	289.707	437.863	370.292	344.806	333.645	≥ 200
VFB	70.333	73.595	78.598	80.997	82.731	≥ 65

5.1.3 Perhitungan Kadar Aspal Optimum (KAO) Menggunakan Program Microsoft Excel XP

Dapat di plotkan data dalam grafik yang menunjukkan hubungan, antara lain:

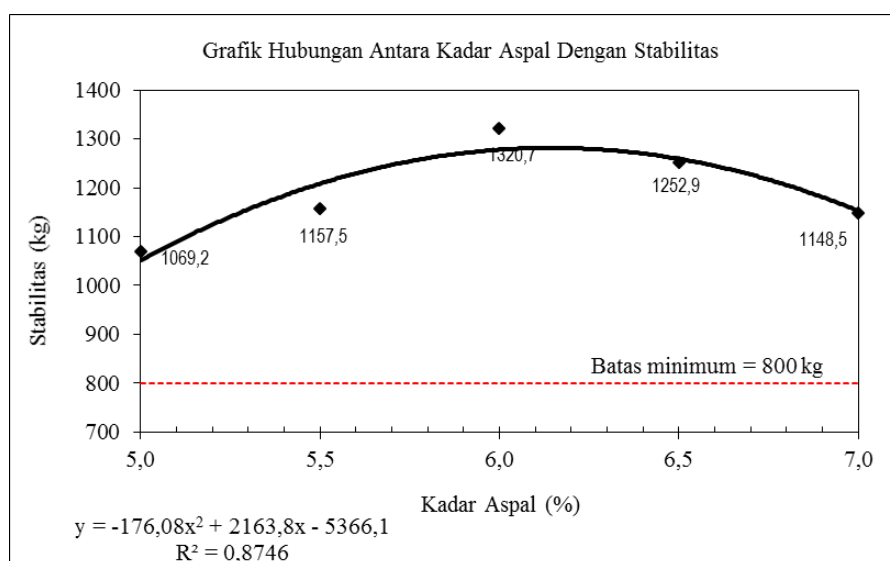
- Antara kadar aspal dengan Stabilitas
- Antara Kadar aspal dengan Flow
- Antara Kadar aspal dengan VIM
- Antara Kadar aspal dengan VMA
- Antara Kadar aspal dengan Marshall
- Antar Kadar aspal dengan indeks Peredaman

Perhitungan mencari kadar aspal optimum didasarkan pada hasil dari perhitungan parameter Marshall yang digambarkan dalam grafik 5.1 – 5.6

Tabel 5.10 Hubungan Kadar Aspal Dengan Stabilitas Rata - rata

Kadar Aspal (%)	Stabilitas Rata-rata (kg)
5,0	1069.196
5,5	1157.494
6,0	1320.685
6,5	1252.917
7,0	1148.549

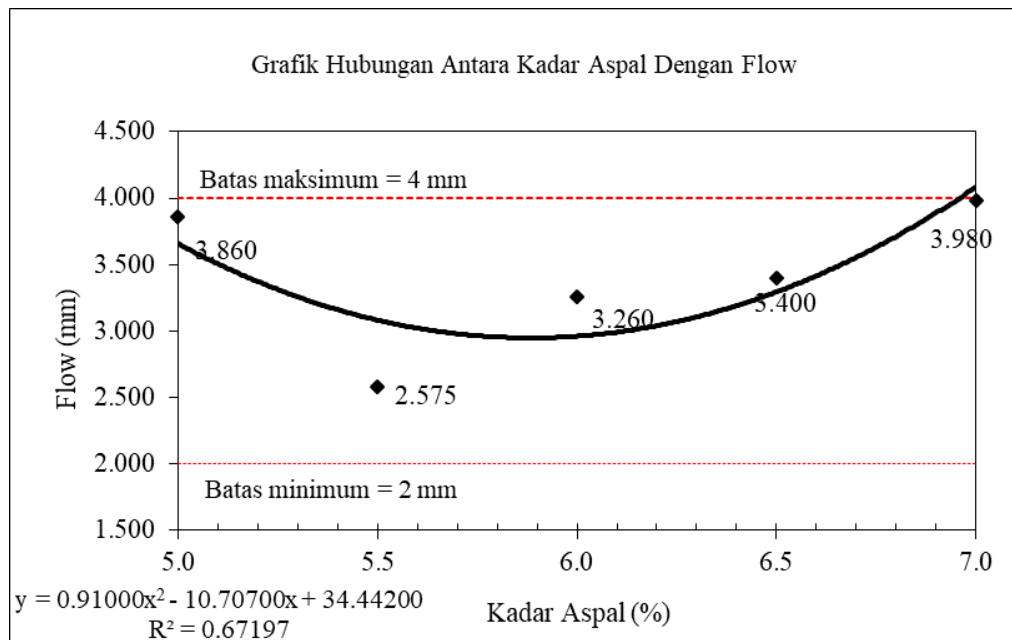
Grafik 5.1 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Stabilitas rata - rata



Tabel 5.11 Hubungan Kadar Aspal Dengan *Flow*

Kadar Aspal (%)	<i>Flow</i>
5.0	3.860
5.5	2.575
6.0	3.260
6.5	3.400
7.0	3.980

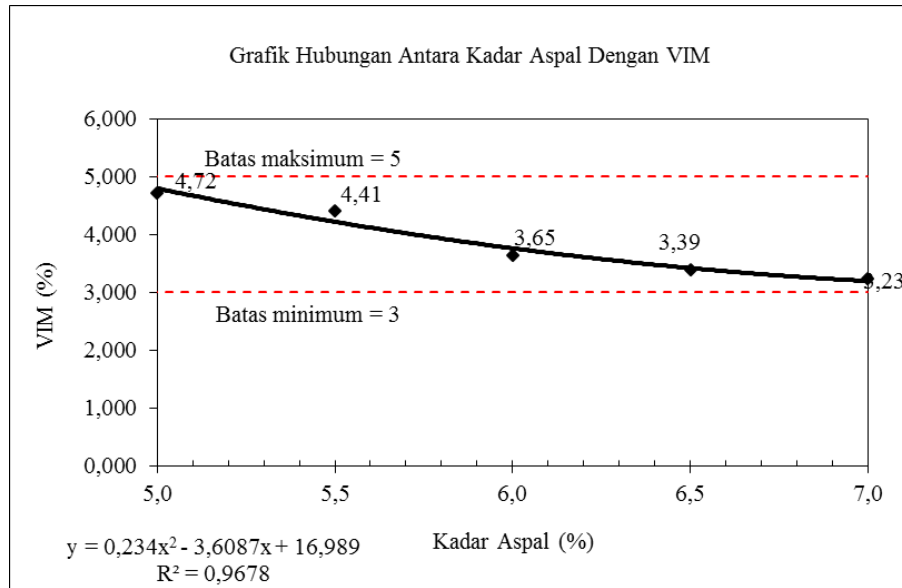
Grafik 5.2 Hubungan Kadar Aspal Dengan *Flow*



Tabel 5.12 Hubungan Kadar Aspal Dengan VIM rata - rata

Kadar Aspal (%)	VIM
5,0	4.723
5,5	4.405
6,0	3.647
6,5	3.388
7,0	3.230

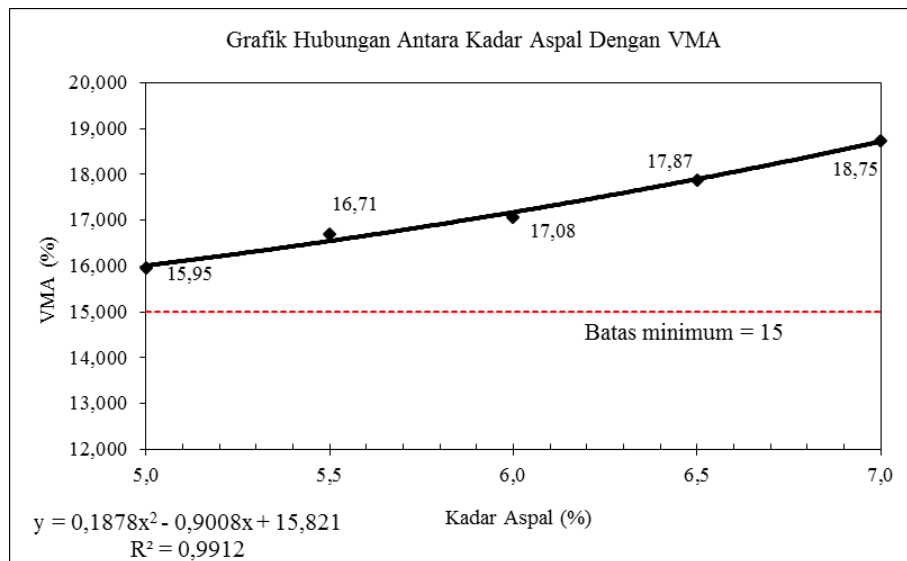
Grafik 5.3 Perhitungan Kadar Aspal Dengan VIM



Tabel 5.13 Hubungan Kadar Aspal dengan VMA rata – rata

Kadar Aspal (%)	VMA
5,0	15.948
5,5	16.706
6,0	17.076
6,5	17.872
7,0	18.746

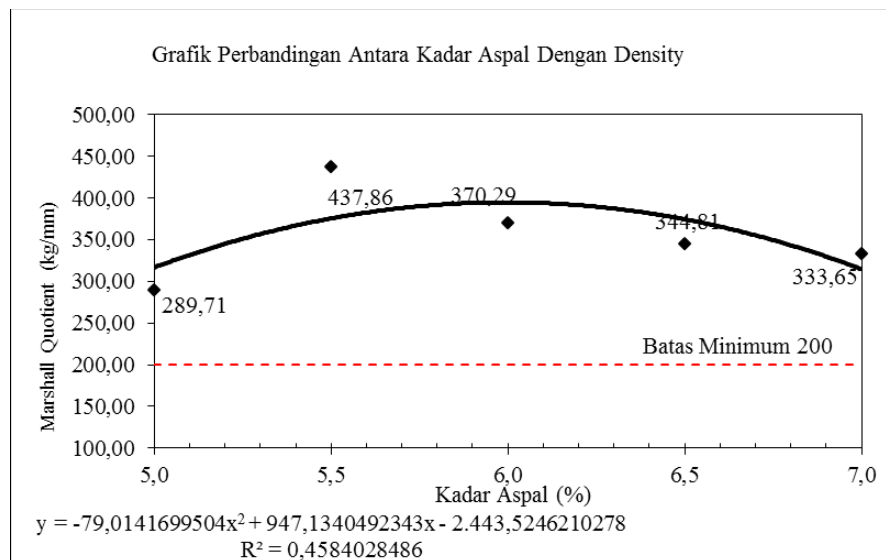
Grafik 5.4 Hubungan Kadar Aspal dengan VMA



Tabel 5.14 Hubungan kadar Aspal dengan Marshall Quotient

Kadar Aspal (%)	<i>Marshall Quotient</i>
5,0	289.71
5,5	437.863
6,0	370.292
6,5	344.806
7,0	333.645

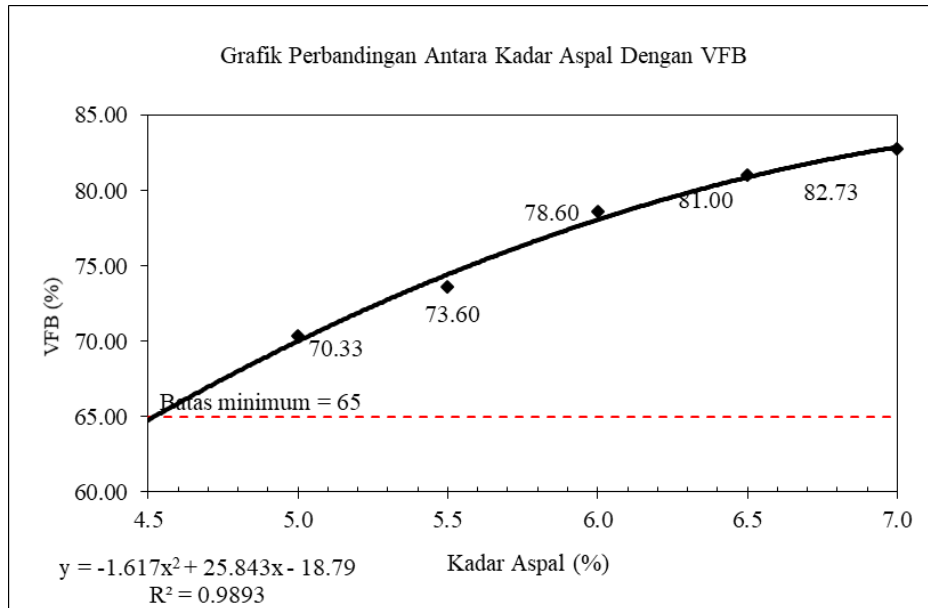
Grafik 5.5 Hubungan kadar Aspal dengan Marshall Quotient



Tabel 5.15 Hubungan kadar Aspal dengan VFB

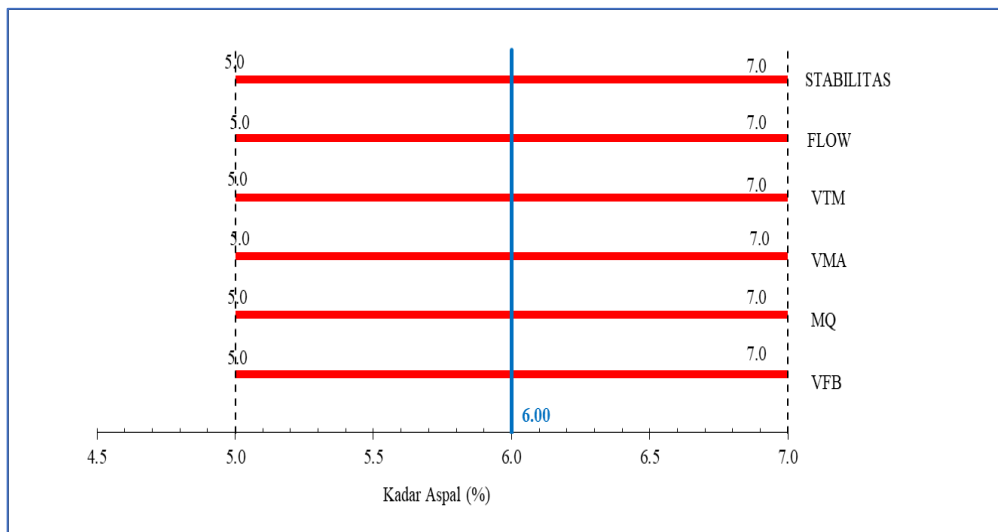
Kadar Aspal (%)	VFB
5,0	70.33
5,5	73.60
6,0	78.60
6,5	81.00
7,0	82.73

Grafik 5.6 Hubungan kadar Aspal dengan Indeks Perendaman



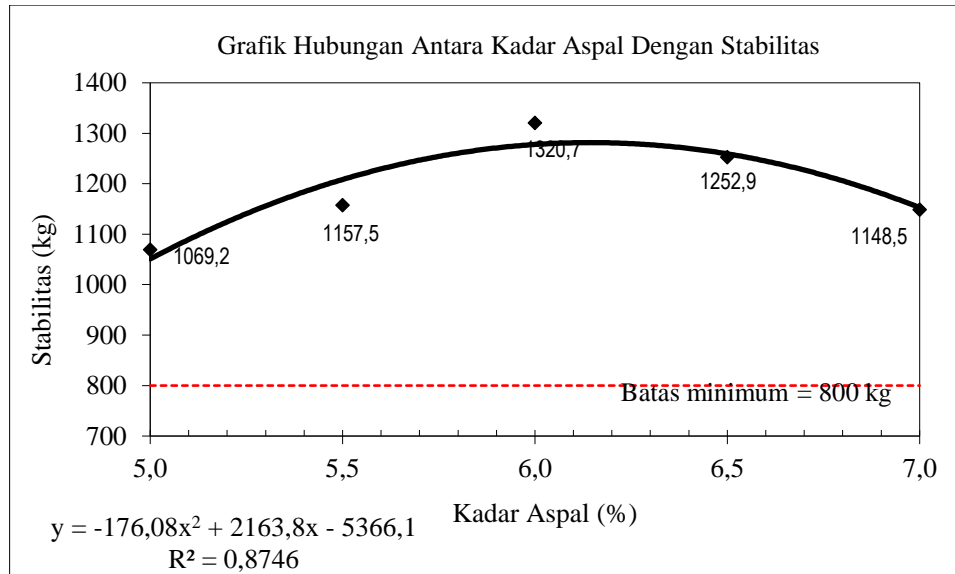
Berdasarkan grafik 5.1 – 5.6, diperoleh Kadar Aspal Optimum yang diperlihatkan pada grafik 5.7A.

**Grafik 5.7A Diagram Batang Kadar Aspal Optimum (KAO)
Untuk Campuran AC - WC**



Berdasarkan grafik 5.7A diagram batang kadar aspal optimum untuk campuran AC-WC standart. Jika, Stabilitas, Flow, VIM, VMA, MQ, VFB memenuhi spesifikasi standart maka kita dapat mencari kadar aspal optimum dari persamaan Stabilitas karena itu yang paling dominan

Grafik 5.7B Grafik Nilai Stabilitas pada Kadar Aspal Optimum



Titik puncak stabilitas pada kadar aspal optimum :

$$Y = -176,08x^2 + 2163,8x - 5366,1$$

$$\frac{dy}{dx} = -2 \cdot 176,08x + 2163,8$$

$$0 = -2 \cdot 176,08x + 2163,8$$

$$352,16x = 2163,8$$

$$X = 6,144\%$$

Nilai stabilitas maksimum terjadi pada kadar aspal 6,144%. Jadi kadar aspal optimum untuk campuran AC standart adalah = 6,144% dengan nilai

5.1.4 Perhitungan Kadar Aspal Optimum (KAO) Menggunakan Metode Regresi

Perhitungan ini digunakan sebagai pembanding dari persamaan dan koefisien determinasi (R^2) yang didapat dari program Microsoft Excel XP. Perhitungan yang dilakukan adalah Analisi Regresi.

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap kuat tekan (stabilitas) campuran AC digunakan metoda fungsi kuadratik (*Sudjana, 1996; 338*) sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2$.

Dengan persamaan perhitungannya sebagai berikut :

$$\sum Y = na + b\sum X + c\sum X^2$$

$$\sum XY = a\sum X + b\sum X^2 + c\sum X^3$$

$$\sum X^2Y = a\sum X^2 + b\sum X^3 + c\sum X^4$$

Analisis regresi data Stabilitas :

Tabel 5.16 Daftar Nilai Yang Perlu untuk Menentukan Regresi

No	X	Y	Y ²	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
1	5	1069.196	1143180	25	125	625	5345.981	26729.9
2	5.5	1157.494	1339792	30.25	166.375	915.0625	6366.215	35014.18
3	6	1320.685	1744208	36	216	1296	7924.108	47544.65
4	6.5	1252.917	1569801	42.25	274.625	1785.063	8143.961	52935.75
5	7	1148.549	1319164	49	343	2401	8039.841	56278.89
Total	30	5948.84	7116145	182.5	1125	7022.13	35820.1	218503

Dari Tabel 5.16, maka didapat persamaan :

$$5948,84 = 5 a + 30 b + 182,5 c$$

$$35820,1 = 30 a + 182,5 b + 1125 c$$

$$218503 = 182,5 a + 1125 b + 7022,13 c$$

Dari persamaan didapat :

$$a = -5366,13$$

$$b = 2163,822$$

$$c = -176,083$$

Maka persamaannya adalah :

$$Y = a + bX + cX^2$$

$$Y = -176,083 X^2 + 2163,822 X - 5366,13$$

Mencari koefisien determinan (R^2) :

$$\begin{aligned} JK(b|a) &= (b \left\{ \sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n} \right\}) + (c \left\{ \sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n} \right\}) \\ &= (2163,822 \left\{ 35820,1 - \frac{30 \times 5948,84}{5} \right\}) \\ &\quad + (-176,083 \left\{ 218503 - \frac{182,5 \times 5948,84}{5} \right\}) \\ &= 33587,700 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} JK(E) &= \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \\ &= 7116145 - \frac{5948,84^2}{5} \\ &= 38405,22 \end{aligned} \qquad \begin{aligned} R^2 &= \frac{JK(b|a)}{JK(E)} \\ &= \frac{33587,700}{38405,22} \\ &= 0,8746 \end{aligned}$$

Berdasarkan kedua cara hasil persamaan dan koefisien di dapat hasil yang hampir sama. Perbandingan ini dapat dilihat dalam Tabel 5.17 di bawah ini :

Tabel 5.17 Daftar Perbandingan Karakteristik Marshall Manual dan Excel

Nilai Karakteristik		Program Microsoft Excel XP	Metode Statistik
Stabilitas	(kg)	$y = -176,08x^2 + 2163,8x - 5366,1$ $R^2 = 0,8746$	$y = -176,08x^2 + 2163,8x - 5366,1$ $R^2 = 0,8746$
Flow	(mm)	$y = 0,910x^2 - 10,707x - 34,442$ $R^2 = 0,6719$	$y = 0,910x^2 - 10,707x - 34,442$ $R^2 = 0,6719$
VIM	(%)	$y = 0,234x^2 - 3,6087x + 16,989$ $R^2 = 0,9678$	$y = 0,234x^2 - 3,6087x + 16,989$ $R^2 = 0,9678$
VMA	(%)	$y = 0,1878x^2 - 0,9008x + 15,821$ $R^2 = 0,9912$	$y = 0,1878x^2 - 0,9008x + 15,821$ $R^2 = 0,9912$
Marshall Quotient	(kg/mm)	$y = -79,014x^2 + 947,134x - 2443,525$ $R^2 = 0,4584$	$y = -79,014x^2 + 947,134x - 2443,525$ $R^2 = 0,4584$
VFB	(%)	$y = -1,617x^2 + 25,843x - 18,79$ $R^2 = 0,9893$	$y = -1,617x^2 + 25,843x - 18,79$ $R^2 = 0,9893$

5.2 Campuran AC-WC dengan penambahan Crumb Rubber dengan KAO 6,144 %

5.2.1 Data Hasil *Test Marshall*

Hasil pengujian marshall dihitung menggunakan software Microsoft Excel XP dan hasilnya ditabelkan. Data-data yang ditampilkan dalam tabel hasil uji test marshall sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Kadar Crumb Rubber} &= 6,144\% \times \text{Kadar Aspal Optimum} \\ &= 6,144\% \times 73,728 = 1,47456 \text{ gr}\end{aligned}$$

Nomor benda uji = 1 kadar 2%

$$a = \text{Diameter (cm)} = 10,24 \text{ cm}$$

$$b = \text{Tinggi 1 (cm)} = 6,44 \text{ cm}$$

$$c = \text{Tinggi 2 (cm)} = 6,3 \text{ cm}$$

$$d = \text{Tinggi 3 (cm)} = 6,29 \text{ cm}$$

$$e = \text{Tinggi 4 (cm)} = 6,41 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}f &= \text{Tinggi rata-rata (mm)} = \left(\frac{b+c+d+e}{4} \right) \times 10 \\ &= \left(\frac{6,44+6,3+6,29+6,41}{4} \right) \times 10 = 6,36 \text{ cm} = 63,60 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}g &= \% \text{ aspal terhadap agregat} = \frac{\% \text{Aspal}}{1200 - \% \text{Aspal}} \times 100 \\ &= \frac{6,144 \% \times 1200}{1200 - (6,144 \% \times 1200)} \times 100 = 6,55\end{aligned}$$

$$h = \% \text{ Aspal Terhadap Campuran} = 6,144 \%$$

$$i = \text{Berat sampel (gram)} = 1181,5 \text{ gr}$$

$$j = \text{Berat SSD (gram)} = 1192,3 \text{ gr}$$

$$k = \text{Berat dlm air (gram)} = 677,9 \text{ gr}$$

$$l = \text{isi (gram)} = 514,4 \text{ gr}$$

$$m = \text{Berat isi} = \frac{i}{l} = \frac{1181,5}{514,4} = 2,297$$

$$\begin{aligned}n &= \text{Berat jenis maksimum teoritis} = \frac{100}{\frac{\% \text{agregat}}{BJ \text{ agregat}} + \frac{\% \text{aspal}}{bj \text{ aspal}}} \\ &= \frac{100}{\left(\frac{17 \times \frac{100-6,144}{100}}{2,65} \right) + \left(\frac{31 \times \frac{100-6,144}{100}}{2,63} \right) + \left(\frac{52 \times \frac{100-6,144}{100}}{2,58} \right) + \left(\frac{6,144}{1,03} \right)} = 2,383\end{aligned}$$

$$o = \frac{h \times m}{bj \text{ aspal}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{6,144 \times 2,297}{1,03} = 13,72 \\
p &= \frac{(100-h) \times m}{bj \text{ agregat}} \\
&= \frac{(100-6,144) \times 2,297}{2,608} = 82,669 \\
q &= \text{jumlah kandungan rongga (\%)} = 100 - o - p \\
&= 100 - 13,72 - 82,669 = 3,61 \% \\
r &= \% \text{ Rongga terhadap agregat VMA} = 100 - p \\
&= 100 - 82,669 = 17,331 \% \\
s &= \% \text{ Rongga terisi aspal VFB} = \frac{100 \times o}{r} \\
&= \frac{100 \times 13,72}{17,331} = 79,168\% \\
t &= \% \text{ Rongga dalam campuran VIM} = 100 - [100x(\frac{m}{n})] \\
&= 100 - [100x(\frac{2,297}{2,383})] = 3,601 \% \\
u &= \text{pembacaan arloji stabilitas} = 75,00 \\
v &= lbf = u \times \text{kalibrasi alat} = 2205,00 \\
w &= kg = v \times 0,44482 = 2205,00 \times 0,44482 = 980,83 \\
x &= \text{koreksi (tebal)} = 0,999 \\
y &= \text{stabilitas (lbf) (dengan koreksi)} \\
&= v \times x = 2205,00 \times 0,999 = 2202,96 \\
z &= \text{stabilitas (kg) (dengan koreksi)} \\
&= w \times x = 980,83 \times 0,999 = 979,92 \\
aa &= \text{Flow (mm)} = 3,3 \text{ mm} \\
ab &= \text{marshall Quotient (kg/mm)} \\
&= \frac{z}{aa} = \frac{979,92}{3,3} = 296,95 \text{ kg/mm}
\end{aligned}$$

Selanjutnya untuk sampel dan kadar aspal yang lainnya hasil pengujian marshall di hitung menggunakan software Microsoft Exel XP dan hasilnya diperlihatkan pada tabel 5.18.

5.2.2 Perhitungan Interval Kepercayaan

Pada penelitian ini di gunakan derajat kepercayaan 95% (= 0,95). Derajat kepercayaan ini di gunakan untuk menentukan nilai-nilai yang berada di dalam interval kepercayaan.

Data Stabilitas Pada Crumb Rubber 2%

$$\text{Rata-rata nilai stabilitas } (\bar{X}) = \frac{\sum xi}{n} = \frac{5038,646}{5} = 1007,729$$

n (jumlah data) = 5

Simpangan baku (s) :

Tabel 5.19. Nilai untuk mencari nilai simpangan baku

Xi	Xi - X	(Xi-X) ²
979,921	-27,808	773,276
997,633	-10,096	101,938
1011,904	4,174	17,426
1022,879	15,150	229,523
1026,309	18,580	345,208
$\sum (Xi-X)^2$		1467,371

$$\text{Varian } (S^2) = \frac{\sum (xi-\bar{x})^2}{n-1} = \frac{1467,371}{5-1} = 366,843$$

$$\text{Simpangan Baku } (S) = \sqrt{366,843} = 19,153$$

$$\text{Derajat Kepercayaan } (\gamma) = 0,95$$

$$\text{Peluang } (p) = \frac{1}{2}(1+0,95) = 0,975$$

$$\text{Derajat Kebebasan } (dk) = n-1 = 5-1 = 4$$

$$\text{Untuk } p = 0,975 \text{ dan untuk } dk = 4 \text{ di dapat } t_{0,975} = 2,78$$

Interval kepercayaan data stabilitas :

$$x - (t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}}) < \mu < x + (t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}})$$

$$1007,729 - (2,78 \times \frac{22,290}{\sqrt{5}}) < \mu < 1007,729 + (2,78 \times \frac{22,290}{\sqrt{5}})$$

$$977,839 < \mu < 1026,134$$

Didapat 95% interval kepercayaan adalah $977,839 < \mu < 1026,134$ jadi dapat di katakan bahwa data yang valid adalah data yang tidak melewati batas 977,839 dan 1026,134. Selanjutnya untuk karakteristik lain di perhatikan pada tabel 5.18.

Tabel 5.20. Interval Kepercayaan Data Stabilitas

Kadar Crumb	x	s	p	dk	t_{0,975}	Interval Kepercayaan	Validitas Data
0%	883,467	24,654	0,975	4	2,78	$852,816 < \mu < 914,118$	883,467
2%	1007,729	19,153	0,975	4	2,78	$983,917 < \mu < 1031,541$	1007,729
4%	1070,399	31,951	0,975	4	2,78	$1030,676 < \mu < 1110,123$	1070,399
6%	1053,151	33,058	0,975	4	2,78	$1012,051 < \mu < 1094,25$	1053,151
8%	1047,446	14,699	0,975	4	2,78	$1029,172 < \mu < 1065,72$	1047,446
10%	1014,097	12,249	0,975	4	2,78	$998,868 < \mu < 1029,325$	1014,097

Nilai-nilai stabilitas dari sampel benda uji kemudian divalidasi dengan interval kepercayaan, dimana nilai yang berada diluar batas-batas interval kepercayaan untuk selanjutnya tidak di pergunakan kembali. Rata-rata nilai stabilitas dari data sampel setelah dilakukan validasi data diperlihatkan pada tabel 5.19.

Tabel 5.21. Tabel Validitas Data Stabilitas

Kadar Crumb Rubber (%)	Interval Kepercayaan		Data Stabilitas Hasil Test Marshall					Rata-rata data setelah Validasi (kg)
	Batas Minimum	Batas Maksimum	1	2	3	4	5	
0%	852,816	914,118	909,523	858,126	872,830	910,197	866,658	883,467
2%	983,917	1031,541	979,921	997,633	1011,904	1022,879	1026,309	1007,729
4%	1030,676	1110,123	1086,174	1030,422	1043,302	1105,704	1086,394	1070,399
6%	1012,051	1094,250	1057,747	1032,141	1101,354	1014,018	1060,493	1053,151
8%	1029,172	1065,720	1034,060	1046,979	1031,783	1063,607	1060,798	1047,446
10%	998,868	1029,325	1027,807	999,358	1021,555	1003,180	1018,583	1014,097

Untuk interval kepercayaan data Flow, VIM, VMA, Marshall Quotient, dan VFB diperlihatkan pada Tabel 5.19 – 5.23.

Tabel 5.22. Interval Kepercayaan Data Flow

Kadar Crumb Rubber	x	s	p	dk	t_{0,975}	Interval Kepercayaan	Validitas Data
0%	3,230	1,055	0,975	4	2,78	$1,919 < \mu < 4,541$	3,230
2%	3,120	0,179	0,975	4	2,78	$2,898 < \mu < 3,342$	3,120
4%	3,020	0,259	0,975	4	2,78	$2,698 < \mu < 3,342$	3,020
6%	2,920	0,531	0,975	4	2,78	$2,260 < \mu < 3,580$	2,920
8%	2,740	0,321	0,975	4	2,78	$2,341 < \mu < 3,139$	2,740
10%	2,98	0,626	0,975	4	2,78	$2,202 < \mu < 3,758$	2,725

Tabel 5.23. Interval Kepercayaan Data VIM

Kadar Crumb Rubber	x	s	p	dk	t_{0,975}	Interval Kepercayaan	Validitas Data
0%	3,593	0,102	0,975	4	2,78	$3,466 < \mu < 3,719$	3,629
2%	3,581	0,029	0,975	4	2,78	$3,545 < \mu < 3,617$	3,581
4%	3,550	0,219	0,975	4	2,78	$3,278 < \mu < 3,822$	3,550
6%	3,540	0,180	0,975	4	2,78	$3,316 < \mu < 3,764$	3,540
8%	3,482	0,150	0,975	4	2,78	$3,296 < \mu < 3,669$	3,482
10%	3,471	0,182	0,975	4	2,78	$3,244 < \mu < 3,697$	3,471

Tabel 5.24. Interval Kepercayaan Data VMA

Kadar Crumb Rubber	x	s	p	dk	t_{0,975}	Interval Kepercayaan	Validitas Data
0%	17,324	0,087	0,975	4	2,78	$17,216 < \mu < 17,432$	17,324
2%	17,314	0,025	0,975	4	2,78	$17,283 < \mu < 17,345$	17,314
4%	17,287	0,188	0,975	4	2,78	$17,054 < \mu < 17,521$	17,310
6%	17,279	0,155	0,975	4	2,78	$17,086 < \mu < 17,471$	17,279
8%	17,229	0,129	0,975	4	2,78	$17,069 < \mu < 17,390$	17,229
10%	17,219	0,156	0,975	4	2,78	$17,025 < \mu < 17,414$	17,219

Tabel 5.24. Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient

Kadar Crumb Rubber	x	s	p	dk	t0,975	Interval Kepercayaan	Validitas Data
0%	300,773	105,200	0,975	4	2,78	$169,983 < \mu < 431,563$	300,773
2%	324,044	23,402	0,975	4	2,78	$294,95 < \mu < 353,138$	324,044
4%	353,111	16,738	0,975	4	2,78	$332,302 < \mu < 373,302$	353,794
6%	362,026	48,544	0,975	4	2,78	$301,673 < \mu < 422,379$	362,026
8%	386,368	43,982	0,975	4	2,78	$331,687 < \mu < 441,049$	386,368
10%	350,984	64,928	0,975	4	2,78	$270,262 < \mu < 431,706$	374,492

Tabel 5.25. Interval Kepercayaan VFB

Kadar Crumb Rubber	x	s	p	dk	t0,975	Interval Kepercayaan	Validitas Data
0%	79,208	0,483	0,975	4	2,78	$78,608 < \mu < 79,809$	79,037
2%	79,261	0,138	0,975	4	2,78	$79,090 < \mu < 79,432$	79,261
4%	79,418	1,040	0,975	4	2,78	$78,124 < \mu < 80,711$	79,418
6%	79,464	0,859	0,975	4	2,78	$78,396 < \mu < 80,531$	79,464
8%	79,736	0,720	0,975	4	2,78	$78,840 < \mu < 80,631$	79,736
10%	79,794	0,875	0,975	4	2,78	$78,706 < \mu < 80,882$	79,794

Tabel 5.27. Rata-rata Hasil Perhitungan Test Marshall Setelah Diadakan Koreksi Validitas Data

Nilai Karakteristik	Crumb Rubber						Batas Diterima
	0%	2%	4%	6%	8%	10%	
Stabilitas (kg)	813,237	1001,986	1025,699	1012,922	968,792	915,758	≥ 800
Flow (mm)	3,23	3,12	3,02	2,92	2,74	2,725	≥ 2
VIM (%)	3,563	3,550	3,517	3,499	3,481	3,425	$3 \geq 5$
VMA(%)	17,299	17,287	17,279	17,244	17,228	17,180	≥ 15
Marshall Quotient (kg/mm)	279,935	321,809	332,278	348,644	352,112	323,536	≥ 200
VFB	79,468	79,409	79,578	79,661	79,748	79,679	≥ 65

5.2.3 Perhitungan Crumb Rubber Optimum Menggunakan Program Microsoft Excel XP

Dapat di plotkan data dalam grafik yang menunjukkan hubungan, antara lain:

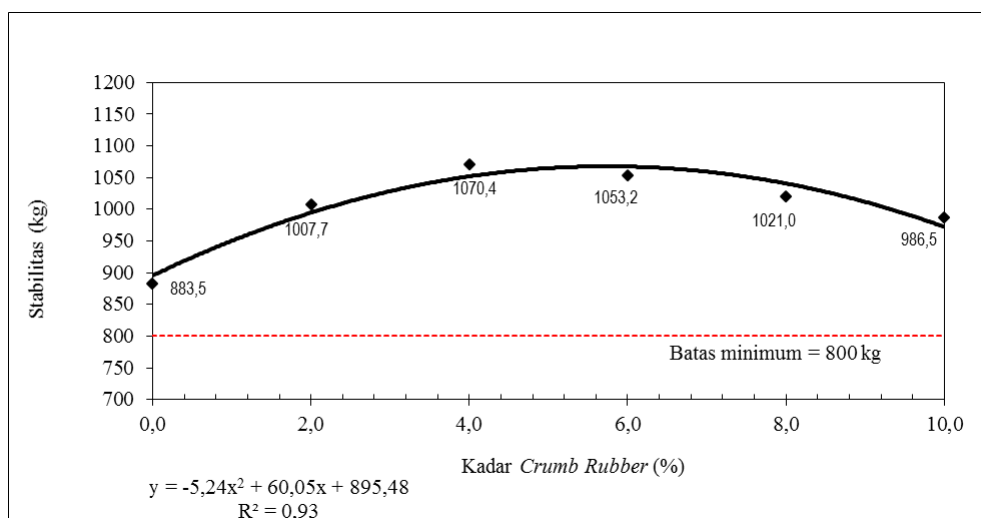
- Antara kadar aspal dengan Stabilitas
- Antara Kadar aspal dengan Flow
- Antara Kadar aspal dengan VIM
- Antara Kadar aspal dengan VMA
- Antara Kadar aspal dengan Marshall
- Antar Kadar aspal dengan indeks Peredaman

Perhitungan mencari Crumb Rubber optimum didasarkan pada hasil dari perhitungan parameter Marshall yang di gambarkan dalam grafik 5.8 – 5.12

Tabel 5.28. Hubungan Kadar Crumb Rubber Dengan Stabilitas Rata – rata

Kadar Rubber	Stabilitas
0,0	883,47
2,0	1007,73
4,0	1070,40
6,0	1053,15
8,0	1020,96
10,0	986,52

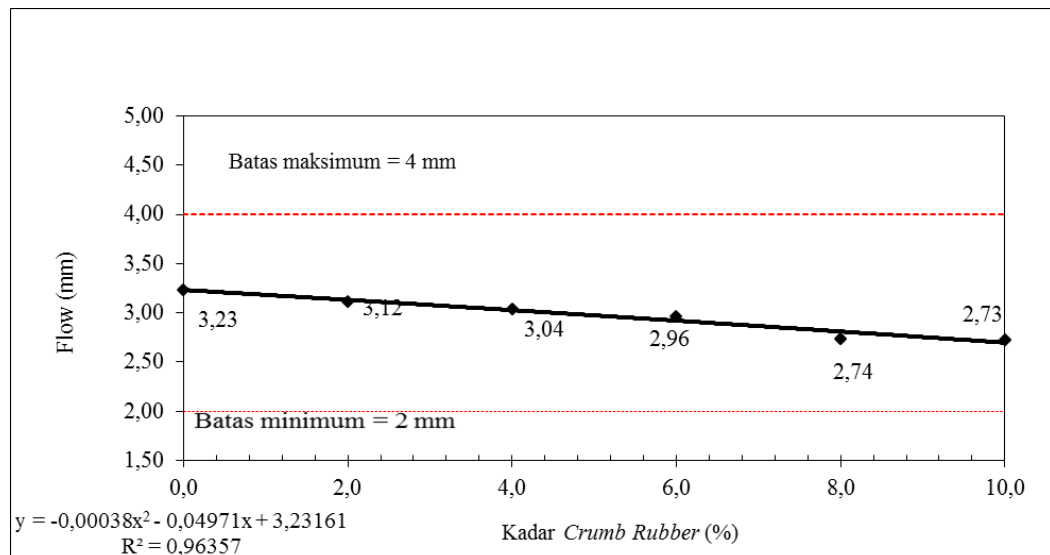
Grafik 5.8 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Stabilitas rata – rata



Tabel 5.29. Hubungan Crumb Rubber Dengan Flow Rata – Rata

Kadar Rubber	Flow
0,0	3,23
2,0	3,12
4,0	3,04
6,0	2,96
8,0	2,74
10,0	2,73

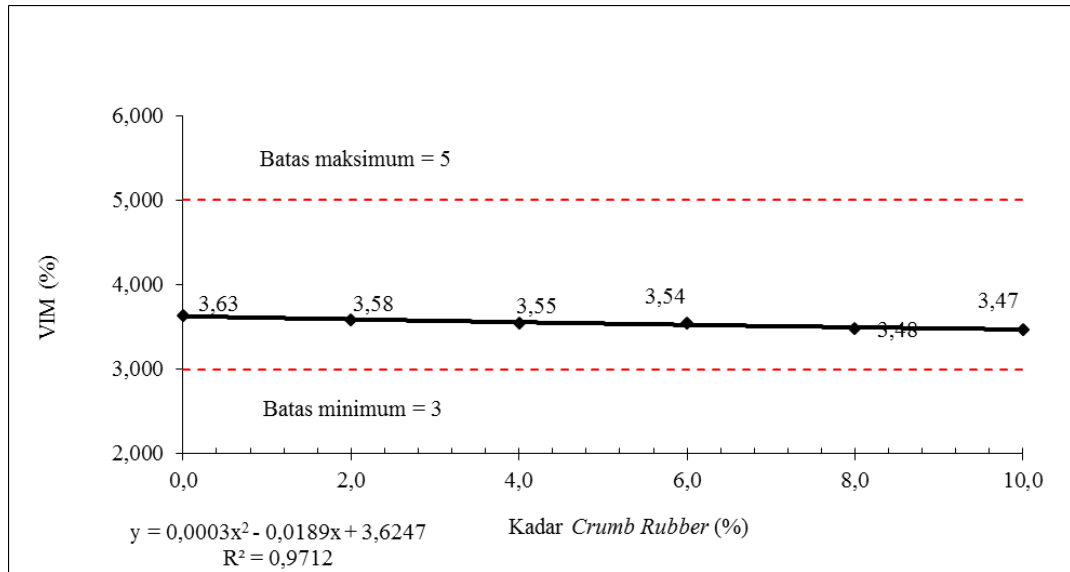
Grafik 5.9 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Flow rata – rata



Tabel 5.30. Hubungan Kadar Aspal Dengan VIM Rata – rata

Kadar aspal	VIM
0,0	3,629
2,0	3,581
4,0	3,550
6,0	3,540
8,0	3,482
10,0	3,471

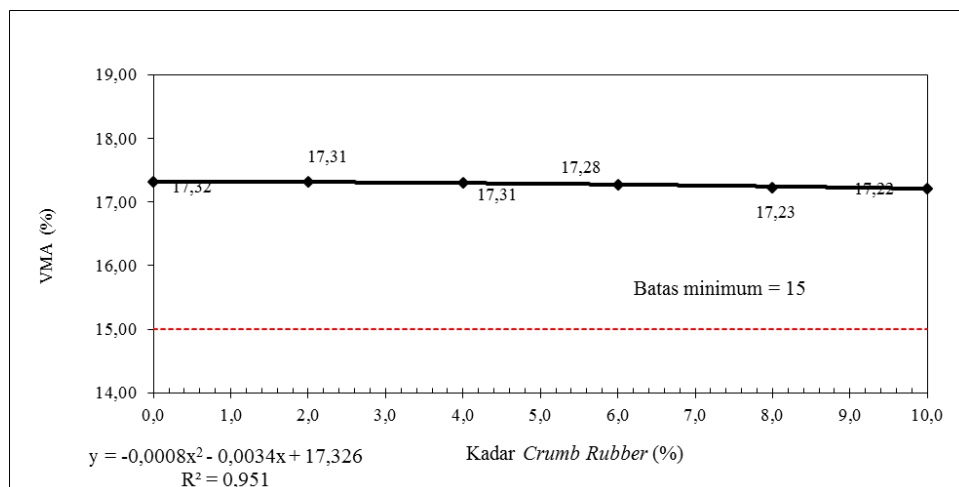
Grafik 5.10 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan VIM rata – rata



Tabel 5.31. Hubungan Kadar Aspal Dengan VMA Rata – rata

Kadar aspal	VMA
0,0	17,32
2,0	17,31
4,0	17,31
6,0	17,28
8,0	17,23
10,0	17,22

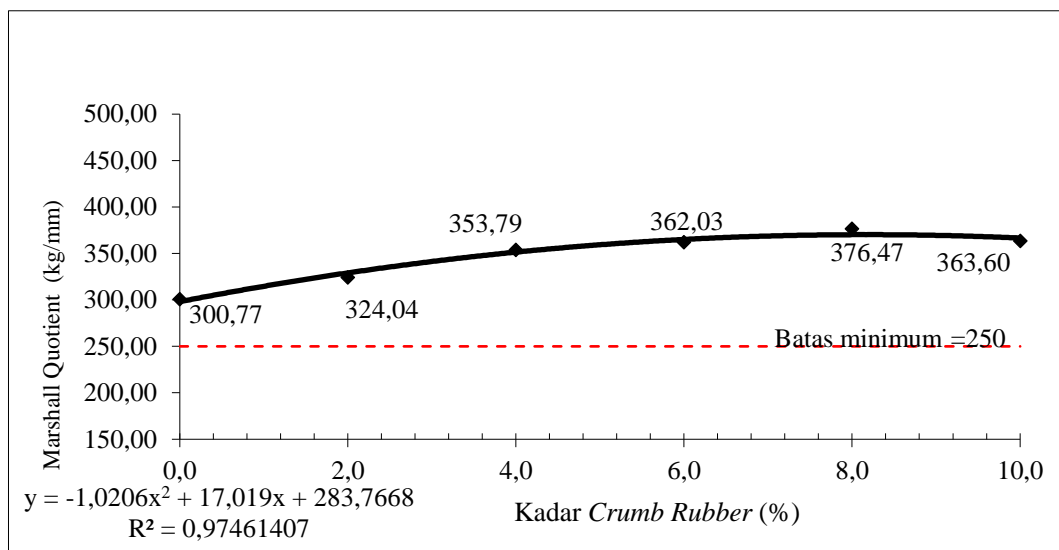
Grafik 5.11 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan VMA rata – rata



Tabel 5.32. Hubungan Kadar Aspal Dengan Marshall Quotient Rata – rata

Kadar aspal	MQ
0,0	300,77
2,0	324,04
4,0	353,79
,0	362,03
8,0	376,47
10,0	363,60

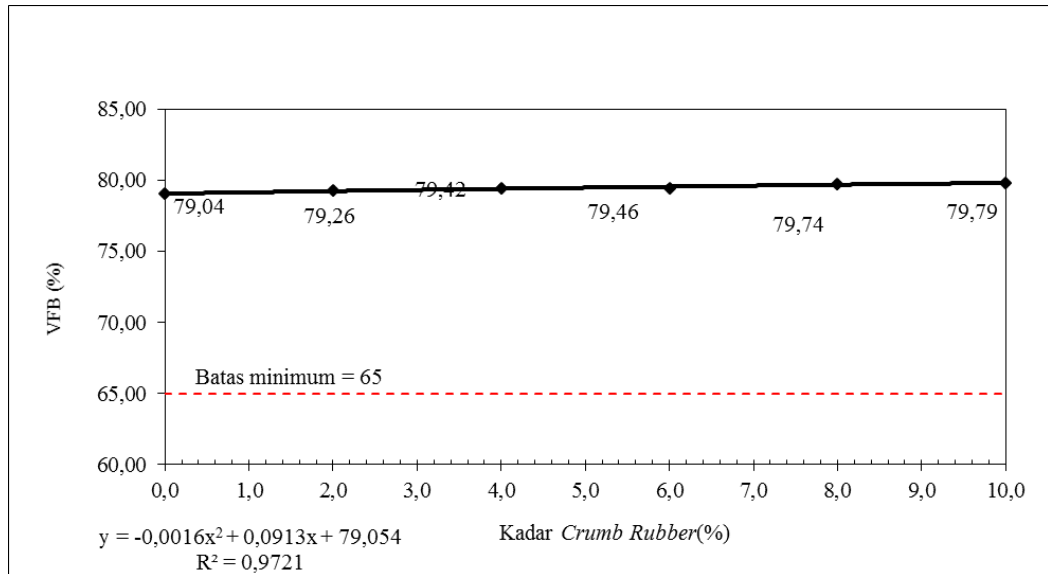
Grafik 5.12 Hubungan Kadar Aspal Dengan Marshall Quotient rata – rata



Tabel 5.33. Hubungan Kadar Aspal Dengan VFB

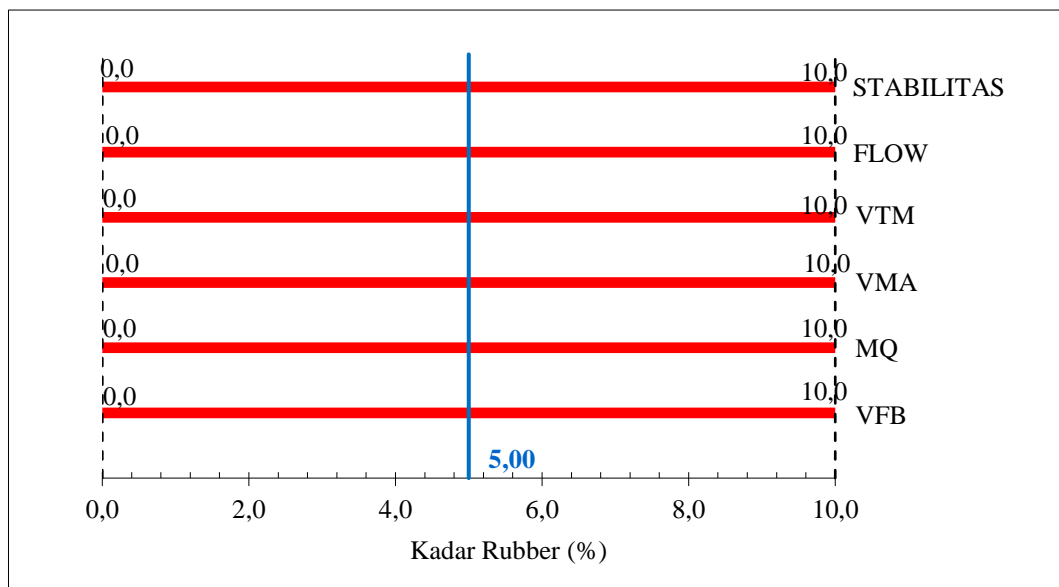
Kadar aspal	VFB
0,0	79,04
2,0	79,26
4,0	79,42
6,0	79,46
8,0	79,74
10,0	79,79

Grafik 5.13 Hubungan Kadar Aspal Dengan VFB



Berdasarkan grafik 5.1 – 5.6, diperoleh *Crumb Rubber* Optimum yang diperlihatkan pada grafik 5.7.

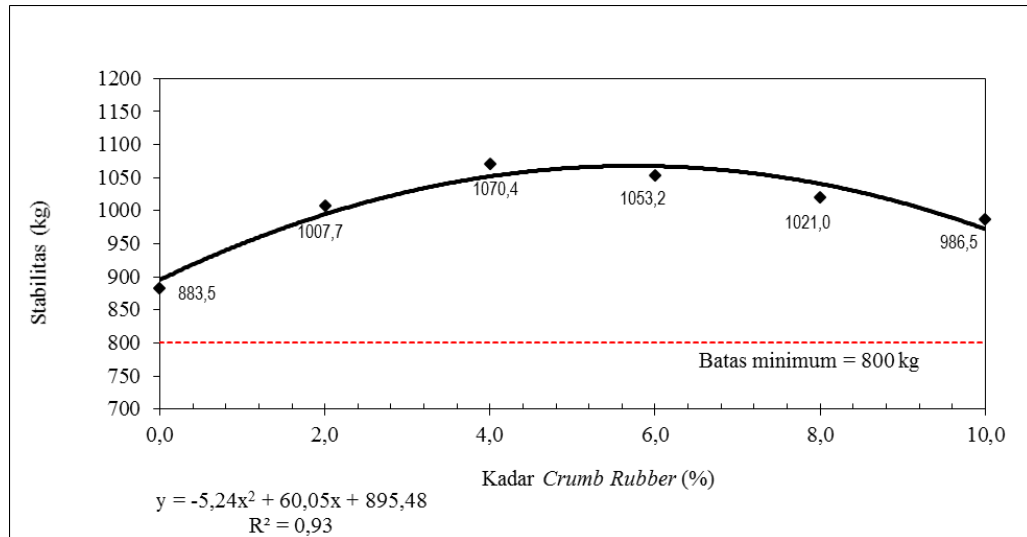
Grafik 5.7A Diagram Batang Kadar Aspal Optimum (KAO) Untuk Campuran AC - WC



Dikarenakan kadar *Crumb Rubber* dari 0% sampai 10% memenuhi semua persyaratan dalam spesifikasi Stabilitas, *Flow*, VTM/VIM, VMA, MQ, VFB, maka

akan diambil titik maksimum pada grafik Stabilitas dan dapat diketahui kadar Crumb Rubber optimumnya.

Grafik 5.14B Grafik Nilai Stabilitas pada Kadar Aspal Optimum



Titik puncak stabilitas pada kadar aspal optimum :

$$Y = -5,24x^2 + 60,05x - 895,48$$

$$\frac{dy}{dx} = -2 \cdot 5,24x + 60,05$$

$$0 = -2 \cdot 5,24x + 60,05$$

$$10,48x = 60,05$$

$$X = 5,73 \%$$

Nilai stabilitas maksimum terjadi pada kadar Crumb Rubber 5,73%. Jadi kadar Crumb Rubber optimum untuk campuran AC-WC standart adalah = 5,73%, dengan angka/nilai stabilitas 1031,357kg

5.2.4 Perhitungan Kadar Crumb Rubber Optimum Menggunakan Metode Regresi

Perhitungan ini digunakan sebagai pembanding dari persamaan dan koefisien determinasi (R^2) yang didapat dari program Microsoft Excel XP. Perhitungan yang dilakukan adalah Analisi Regresi.

Pada penelitian ini, untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap kuat tekan (stabilitas) campuran AC digunakan metoda fungsi kuadratik (*Sudjana, 1996; 338*) sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2$.

Dengan persamaan perhitungannya sebagai berikut :

$$\sum Y = na + b\sum X + c\sum X^2$$

$$\sum XY = a\sum X + b\sum X^2 + c\sum X^3$$

$$\sum X^2Y = a\sum X^2 + b\sum X^3 + c\sum X^4$$

Analisis regresi data Stabilitas :

Tabel 5.34. Daftar Nilai Yang Perlu untuk Menentukan Regresi

No	X	Y	Y ²	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
1	0	883,467	780513,795	0	0	0	0	0
2	2	1007,729	1015518,274	4	8	16	2015,459	4030,917
3	4	1070,399	1145754,376	16	64	256	4281,597	17126,387
4	6	1053,151	1109126,283	36	216	1296	6318,904	37913,423
5	8	1020,962	1042362,826	64	512	4096	8167,694	65341,550
6	10	986,520	973221,720	100	1000	10000	9865,200	98652,000
Total	30	6022,228	6066497,274	220	1800	15664	30648,853	223064,277

Dari Tabel 5.31, maka didapat persamaan :

$$6022,228 = 6a + 30b + 220c$$

$$30648,853 = 30a + 220b + 1800c$$

$$223064,277 = 220a + 1800b + 15664c$$

Dari persamaan didapat :

$$a = 895,478$$

$$b = 60,046$$

$$c = -5,236$$

Maka persamaannya adalah :

$$Y = a + bX + cX^2$$

$$Y = -5,236 X^2 + 60,046 X + 895,478$$

Mencari koefisien determinan (R^2) :

$$\begin{aligned} JK(b|a) &= (b \left\{ \sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n} \right\}) + (c \left\{ \sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n} \right\}) \\ &= (60,046 \left\{ 30648,853 - \frac{30 \times 6022,228}{6} \right\}) \\ &\quad + (-5,236 \left\{ 223064,277 - \frac{220 \times 6022,228}{6} \right\}) \\ &= 20509,391 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} JK(E) &= \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \\ &= 6066497,274 - \frac{(6022,228)^2}{6} \\ &= 21959,493 \end{aligned} \qquad \begin{aligned} R^2 &= \frac{JK(b|a)}{JK(E)} \\ &= \frac{28374,994}{21959,493} \\ &= 0,934 \end{aligned}$$

Berdasarkan kedua cara hasil persamaan dan koefisien determinasi mendapatkan hasil yang hampir sama. Perbandingan ini dapat diperlihatkan dalam Tabel 5.32 di bawah ini :

Tabel 5.35. Daftar Perbandingan Karakteristik Marshall Statistik dan Excel

Nilai Karakteristik		Program Microsoft Excel XP	Metode Statistik
Stabilitas	(Kg)	$y = -5,24x^2 + 60,05x + 895,48$ $R^2 = 0,93$	$y = -5,24x^2 + 60,05x + 895,48$ $R^2 = 0,93$
Flow	(mm)	$y = -0,00038x^2 - 0,04971x + 3,23161$ $R^2 = 0,96357$	$y = -0,00038x^2 - 0,04971x + 3,23161$ $R^2 = 0,96357$
VIM	(%)	$y = 0,0003x^2 - 0,0189x + 3,6247$ $R^2 = 0,9712$	$y = 0,0003x^2 - 0,0189x + 3,6247$ $R^2 = 0,9712$
VMA	(%)	$y = -0,0008x^2 - 0,0034x + 17,326$ $R^2 = 0,951$	$y = -0,0008x^2 - 0,0034x + 17,326$ $R^2 = 0,951$
Marshall Quotient	(Kg/mm)	$y = -1,0206x^2 + 17,019x + 283,7668$ $R^2 = 0,97461407$	$y = -1,0206x^2 + 17,019x + 283,7668$ $R^2 = 0,97461407$
VFB	(%)	$y = -0,0016x^2 + 0,0913x + 79,054$ $R^2 = 0,9721$	$y = -0,0016x^2 + 0,0913x + 79,054$ $R^2 = 0,9721$

5.2.5 Perhitungan Indeks Perendaman Hasil Uji Marshall Campuran AC-WC Menggunakan kadar Crumb Rubber Optimum 5,73%

Uji Indeks Perendaman (*Marshall Immersion Test*) dimaksudkan untuk mengukur tingkat durabilitas campuran (merupakan indikator dari tingkat ketahanan campuran) terhadap pengaruh cuaca.

Ukuran ini dinyatakan dalam nilai stabilitas sisa yang didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Nilai Stabilitas Sisa} = \frac{\text{Stabilitas pada rendaman 24 jam, suhu } 60^{\circ}\text{C}}{\text{Stabilitas pada rendaman 30 menit suhu } 60^{\circ}\text{C}}$$

Kadar Crumb Rubber di gunakan = 5,73% * 73,728 = 4,23 gram.

Tabel 5.36. Data Indeks Perendaman

Benda Uji	Stabilitas 30 menit	Stabilitas 24 jam	Indeks Perendaman (%)	Syarat
1	1016,281	977,591	96,193	> 90%
2	1011,126	969,866	95,919	
3	1022,251	962,354	94,141	

5.3 Statistika

5.3.1 Uji Hipotesis

Telah diketahui bahwa statistika berhubungan dengan pengembangan dan penggunaan metode serta teknik untuk pengumpulan, penyajian, penganalisaan, dan pengambilan kesimpulan mengenai populasi berdasarkan sekumpulan data sehingga ketidakpastian dari kesimpulan yang berdasarkan data tersebut dapat di perhitungkan, yaitu dengan menggunakan ilmu hitung peluang (Sudjana,1994:1). Jika hasil yang di dapat dari penelitian ini, dalam pengertian peluang, jauh berbeda dari hasil yang di harapkan dan terjadi berdasarkan hipotesis, maka hipotesis ditolak dan jika terjadi sebaliknya maka hipotesis dapat di terima.

Dari hasil data yang telah di dapat, diadakan pengujian hipotesis secara statisik yang menggunakan distribusi cara F, karena uji F di pergunakan untuk uji hipotesis hasil pengamatan lebih dari dua buah perlakuan (Sudjana,1994:22). Adapun prinsip yang di gunakan dalam uji hipotesis dengan uji F ini yaitu dengan membandingkan varian yang di hitung berdasarkan nilai rata-rata antara kelompok sampel dengan varian yang di hitung berdasarkan data pengamatan dari seluruh sampel.

Dari hasil perhitungan dapat di lakukan pengujian hipotesis stabilitas campuran kadar aspal optimum terhadap variasi penambahan kadar serbuk *Crumb Rubber* sebesar 0%,2%,4%,6%,8%,dan 10%

a. Dengan cara manual menggunakan program Excel

Hipotesis statistiknya campuran beton aspal dengan penambahan serbuk ban :

$$H_0 ; \mu A1 = \mu A2 = \mu A3 = \mu A4 = \mu A5$$

$$H_a ; \mu A1 \neq \mu A2 \neq \mu A3 \neq \mu A4 \neq \mu A5$$

Tabel 5.37. Data Stabilitas Campuran Beton Aspal + serbuk Crumb Rubber

Presentase serbuk Crumb Rubber	0%	2%	4%	6%	8%	10%	
Stabilitas (kg)	909,523	979,921	1086,174	1057,747	1034,060	1027,807	
	858,126	997,633	1030,422	1032,141	1046,979	999,358	
	872,830	1011,904	1043,302	1101,354	1031,783	1021,555	
	910,197	1022,879	1105,704	1014,018	1063,607	1003,180	
	866,658	1026,309	1086,394	1060,493	1060,798	1018,583	
Jumlah	4417,334	5038,646	5351,996	5265,753	5237,228	5070,483	30381,441
Pengamatan	5	5	5	5	5	5	30,000
Rata-rata	883,467	1007,729	1070,399	1053,151	1047,446	1014,097	1012,715

Rumus Penghitungan :

$$\begin{aligned}
 JK(\text{Total}) &= (909,523)^2 + (858,126)^2 + (872,830)^2 + \dots + (1018,583)^2 - \\
 &\quad (30381,441)^2/30 \\
 &= 128320,717
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK(\text{AK}) &= (4417,334)^2/5 + (5038,646)^2/5 + (5351,996)^2/5 + (5265,753)^2/5 + \\
 &\quad (5237,228)^2/5 + (5070,483)^2/5 - (30381,441)^2/30 \\
 &= 114502,856
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK(\text{DK}) &= \text{diperoleh dengan mengurangi } JK(\text{Total}) \text{ dan } JK(\text{Antar Kelompok}) \\
 &= JK(\text{Total}) - JK(\text{Antar Kelompok}) \\
 &= 128320,717 - 114502,856 = 13817,861
 \end{aligned}$$

Dk untuk setiap sumber variasi :

$$dk(\text{Total}) = N-1 = 30 - 1 = 29$$

$$dk(\text{AK}) = K-1 = 6 - 1 = 5$$

$$dk(\text{DK}) = K(n-1) = 6(5-1) = 24$$

catatan : N = jumlah semua sample

n = jumlah sample tiap kelompok

K = banyaknya kelompok

Menghitung rata-rata jumlah kuadrat (RJK) yang juga merupakan harga varian untuk sumber varian antar kelompok dan dalam kelompok dengan cara sebagai berikut :

$$RJK_{(AK)} = \frac{JK(AK)}{dk(AK)} = \frac{114502,8564}{5} = 22900,571$$

$$RJK_{(DK)} = \frac{JK(DK)}{dk(DK)} = \frac{13817,8613}{24} = 575,744$$

$$F_{hitung} = \frac{RJK(AK)}{RJK(DK)} = \frac{22900,571}{575,744} = 39,776$$

F_{tabel} = di dapat pada tabel F dengan ($\alpha = 0,05$; $dk(AK) = 5$; $dk(DK) = 24$)

$$F_{tabel} = 2,62$$

Tabel 5.38. Hasil Perhitungan ANAVA untuk Stabilitas Campuran Aspal + Crumb Rubber

Sumber variasi	Derajat Kesalahan (dk)	Jumlah Kuadrat (JK)	RJK	Fhitung	Ftabel
Rata-rata	1	30767731,824	30767731,824	39,776	2,62
Antar kelompok	5	114502,856	22900,571		
Dalam kelompok	24	13817,861	575,744		
Jumlah	29	128320,717			

*RJK = Rata-rata Jumlah Kuadrat

b. Menggunakan SPSS

Tabel 5.39. Tabel Anova Untuk Uji Hipotesis ANOVA

Stabilitas

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	114502,848	5	22900,570	39,776	,000
Within Groups	13817,873	24	575,745		
Total	128320,720	29			

$F_{\text{tabel}} = 2,62 < F_{\text{hitung}} = 39,776$, Artinya Kesimpulan H_0 di tolak dan H_a dapat di terima, yang berarti juga terdapat perbedaan yang nyata antara stabilitas terhadap variasi presentase aspal pada campuran pekerasan jalan

5.3.2 Uji Korelasi Pearsons (r)

Korelasi Pearson merupakan salah satu ukuran korelasi yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier dari dua variabel. Dua variabel dikatakan berkorelasi apabila perubahan salah satu variabel disertai dengan perubahan variabel lainnya, baik dalam arah yang sama ataupun arah yang sebaliknya. Pada penelitian ini di gunakan pengujian korelasi pearsons untuk melihat hubungan antar penambahan *crumb rubber* pada campuran.

a. Dengan cara manual menggunakan program Excel

Tabel 5.40. Data stabilitas dengan Penambahan *Crumb Rubber* untuk uji korelasi

STABILITAS

BENDA UJI	KADAR RUBBER % (X)	STABILITAS (Y)	X ²	Y ²	XY
a	0	909,523	0	827231,762	0,000
b	0	858,126	0	736380,232	0,000
c	0	872,830	0	761832,481	0,000
d	0	910,197	0	828459,480	0,000
e	0	866,658	0	751095,723	0,000
f	2	979,921	4	960245,991	1959,843
g	2	997,633	4	995271,294	1995,266
h	2	1011,904	4	1023949,191	2023,807
i	2	1022,879	4	1046282,032	2045,759
j	2	1026,309	4	1053310,233	2052,618
k	4	1086,174	16	1179773,765	4344,696
l	4	1030,422	16	1061768,994	4121,687
m	4	1043,302	16	1088479,121	4173,208
n	4	1105,704	16	1222580,869	4422,815
o	4	1086,394	16	1180252,683	4345,577
p	6	1057,747	36	1118829,461	6346,484
q	6	1032,141	36	1065315,089	6192,846

r	6	1101,354	36	1212979,960	6608,122
s	6	1014,018	36	1028233,314	6084,110
t	6	1060,493	36	1124644,898	6362,957
u	8	1034,060	64	1069280,748	8272,483
v	8	1046,979	64	1096165,273	8375,833
w	8	1031,783	64	1064576,309	8254,265
x	8	1063,607	64	1131260,324	8508,858
y	8	1060,798	64	1125293,264	8486,387
z	10	1027,807	100	1056387,875	10278,073
aa	10	999,358	100	998715,966	9993,578
ab	10	1021,555	100	1043574,690	10215,550
ac	10	1003,180	100	1006369,657	10031,798
ad	10	1018,583	100	1037511,864	10185,833
30	150	30381,44096	1100	30896052,54	155682,45

rx,y	0,563
t hitung	3,607780114
t tabel, t 0.05,24	1,711

Jadi, korelasi dari stabilitas penambahan crumb rubber adalah 0,563 atau berkorelasi sedang, $t_{hitung} > t_{tabel}$

b. Menggunakan Software SPSS

Tabel 5.41. Correlations dengan SPSS

		Kadar Crumb Rubber	Stabilitas
Kadar Crumb Rubber	Pearson Correlation	1	,563**
	Sig. (2-tailed)		,001
	N	30	30
Stabilitas	Pearson Correlation	,563**	1
	Sig. (2-tailed)	,001	
	N	30	30

5.4 Pembahasan

5.3.1 Perbandingan campuran AC-WC menggunakan variasi kadar aspal 5%,5,5%,6%,6,5%,7% dengan filler abu sekam padi

5.4.1.1 Stabilitas

Berdasarkan hasil penelitian dari setiap campuran beton aspal, ternyata penambahan kadar aspal dari 5,0 % sampai dengan 6,0% akan meningkatkan nilai stabilitas suatu campuran sampai nilai maksimum yaitu dari 1069,2 kg sampai 1320,7 kg, akan tetapi penambahan aspal yang lebih lanjut dari 6,0% sampai dengan 7,0% akan menurunkan nilai stabilitas campuran beton aspal yaitu dari 1320,7 kg menjadi 1148,5 kg

5.4.1.2 Flow

Hasil dari data flow, terlihat pada tabel 5.11 dan grafik 5.2 grafik pada flow naik turun di sebabkan beberapa faktor yang membuat nilai flow memberikan gambaran bahwa semakin meningkatnya harga flow dari 3,28mm sampai dengan 3,75 jika kadar aspal campuran ditingkatkan dari 5,5% sampai dengan 7,5%. Hal ini berarti nilai *flow* berbanding lurus dengan nilai kadar aspal. Sehingga dapat diambil kesimpulan dengan semakin bertambahnya kadar aspal suatu campuran maka semakin tinggi nilai dari *flow*.

5.4.1.3 Marshall Quotient

Marshall Quotient merupakan perbandingan antara stabilitas dengan *flow* yang dicapai oleh campuran. Nilai Marshall Quotient menunjukkan kekakuan suatu campuran. Hal ini berarti campuran tersebut memiliki ketahanan yang tinggi terhadap deformasi permanen. Namun bila Marshall Quotient terlalu besar menyebabkan campuran tersebut tidak tahan terhadap keruntuhan akibat retak.

Berdasarkan data hasil penelitian penambahan kadar aspal dari 5,0% sampai dengan 6,0% akan menaikkan nilai Marshall Quotient dari 289,71 (kg/ml) sampai dengan 370,29 (kg/ml) dan dengan penambahan lebih dari ini di atas 6,0%-7% akan menurunkan Marshall Quotient dari 370,29 (kg/ml) sampai 333,645 (kg/ml). Jadi dapat diambil kesimpulan dari data penelitian dengan penambahan kadar aspal terus-menerus akan menurunkan nilai Marshall Quotient. Khususnya pada Marshall

Quotient kami menyadari banyak kekurangan yang yang di temukan yang membuat nilai yang di dapatkan banyak yang keluar dari hasil yang di harapkan pada interval kepercayaan

5.4.1.4 VIM

karena campuran beton aspal merupakan perpaduan antara agregat (kasar, halus, dan filler) dengan aspal pada proporsi tertentu, maka sifat workability pada saat pencampuran menjadi sangat penting. Komposisi dan proporsi jenis agregat yang tepat, akan sangat berpengaruh terhadap prosentase rongga yang ada dalam campuran (VIM). Semakin kecil harga VIM akan semakin baik kualitas campuran, sebab campuran akan semakin rapat dan kompak.

Dari hasil penelitian yang di lakukan, di peroleh data dengan penambahan kadar aspal dari 5,0 % sampai dengan 7,0%, maka harga VIM akan turun dari 4,72% menjadi 3,23%.

5.4.1.5 VMA

Voids in Mineral Aggregates (VMA), adalah volume pori di antara partikel agregat dalam campuran yang telah dipadatkan, termasuk pori yang terisi oleh aspal, yang dinyatakan dalam (%) terhadap volume total campuran.

Tidak seperti kebanyakan campuran yang VMA nya berbanding lurus dengan VIM nya pada campuran dalam mencari Kadar Aspal Optimum VMA cenderung berbanding terbalik dengan VIMnya di karenakan beberapa data pada VIM tidak masuk pada Interval Kepercayaan yang menyebabkan VMA berbanding terbalik dengan VIM.

Dari hasil penelitian yang di lakukan, di peroleh data dengan penambahan kadar aspal dari 5,0% sampai dengan 7,0 %, maka harga VMA naik dari 15,948% menjadi 18,746%.

5.4.1.6 VFB/Rongga Terisi Aspal

Dari hasil penelitian yang di lakukan, di peroleh data dengan penambahan kadar aspal dari 5,0 % sampai dengan 7,0 %, maka harga rongga terisi aspal akan naik dari 70,33% menjadi 82,73%. Jadi dari hasil penelitian dapat di ambil kesimpulan dengan penambahan kadar yang bersifat cair saat panas dengan

penambahan aspal terus-menerus akan meningkatkan nilai rongga terisi aspal dalam campuran.

5.4.2 Perbandingan campuran AC-WC menggunakan Crumb Rubber dan campuran AC-WC tanpa Crumb Rubber

5.4.2.1 Stabilitas

Berdasarkan hasil penelitian dari setiap campuran beton aspal, ternyata penambahan kadar serbuk Crumb Rubber dari 0% sampai 4% akan meningkatkan nilai stabilitas suatu campuran dari 813,2 kg sampai dengan 1025,7 kg, akan tetapi penambahan serbuk Crumb Rubber yang lebih lanjut dari 6% sampai dengan 10% akan menurunkan nilai stabilitas campuran beton aspal dari 1012,9 kg menjadi 915,8 kg. Hal ini di mungkinkan dengan penambahan serbuk Crumb Rubber yang berlebihan akan menambah sifat kegetasan dari campuran tersebut.

5.4.2.2 Flow

Dari hasil data flow, memberikan gambaran bahwa dengan semakin bertambahnya kadar serbuk *crumb rubber* dari 0% sampai dengan 10%, maka akan di peroleh penurunan harga flow dari 3,23 (mm) menjadi 2,73 (mm). Hal ini berarti dengan penambahan kadar serbuk *Crumb Rubber* maka akan meningkatkan kekakuan dari campuran.

5.4.2.3 VIM

Dari hasil penelitian yang di lakukan di peroleh hasil data adanya penurunan nilai VIM dari 3,56% menjadi 3,43% seiring dengan bertambahnya kadar serbuk Crumb Rubber dari 0% sampai dengan 10%. Hal ini di mungkinkan dengan penambahan serbuk Crumb Rubber, rongga yang ada dalam campuran semakin banyak terisi campuran aspal dan serbuk *Crumb Rubber*.

5.4.2.4 VMA

Dari hasil penelitian yang di lakukan, di peroleh data dengan penambahan Crumb Rubber dari 0% sampai dengan 10 %, dapat menurunkan nilai VMA dari 17,30% menjadi 17,13%.

5.4.2.5 Marshall Quotient

Marshall Quotient merupakan perbandingan antara stabilitas dengan flow yang di capai oleh campuran. Nilai Marshall Quotient menunjukan kekakuan suatu campuran. Makin besar nilai Marshall Quotient, makin besar kekakuan campuran. Hal ini berarti campuran tersebut memiliki ketahanan yang tinggi terhadap deformasi permanen. Namun bila Marshall Quotient terlalu besar menyebabkan campuran tersebut tidak tahan terhadap keruntuhan akibat retak.

Berdasarkan data hasil penelitian penambahan serbuk Crumb Rubber dari 0% sampai dengan 10% akan meningkatkan nilai Marshall quotient dari 279,94 (kg/ml) menjadi 353,87 (kg/ml). Jadi dari hasil penelitian dapat di ambil kesimpulan dengan penambahan serbuk Crumb Rubber 10% dari berat aspal akan di peroleh peningkatan nilai dari Marshall Quotient sebesar $\pm 73,93$ (kg/ml).

5.4.2.6 VFB/ Rongga Terisi Aspal

Data dari hasil penelitian menunjukan dengan penambahan serbuk Crumb Rubber dari 0% sampai dengan 10% di peroleh penambahan rongga terisi aspal dari 79,47% menjadi 80,01%. Jadi dari data penelitian dapat di ambil kesimpulan dengan penambahan 10% serbuk Crumb Rubber ada peningkatan nilai rongga terisi aspal sebesar $\pm 0,54\%$.

5.4.2.7 Indeks Perendaman

Parameter yang menentukan terhadap kualitas campuran beton aspal adalah indeks perendaman dimana parameter ini menunjukan nilai rasio antara durabilitas dengan stabilitas campuran yang di nyatakan dalam persen. Pada penelitian ini di dapat nilai Indeks Perendaman, pada benda uji 1,2, dan 3 memiliki stabilitas 30 menit berturut-turut 1016.281 kg, 1011.126kg, dan 1022.251kg, dan stabilitas 24 jamnya berturut-turut 977.591kg, 969.866kg, dan 962.354kg, jadi Indeks Perendaman sisa masing-masing berturut-turut adalah, 96.193%, 95.919%, dan 94.141%. Dimana keseluruhan benda uji memenuhi syarat spesifikasi sebesar 90%.

5.5. Pembahasan Hasil Penelitian

Berdasarkan data hasil penelitian yang di lakukan di laboratorium dan pengujian hipotesa yang mencari hubungan antara variasi kadar aspal terhadap

parameter-parameter campuran aspal beton untuk mendapatkan kadar serbuk Crumb Rubber optimum di peroleh beberapa hasil pembahasan sebagai berikut :

1. Setelah di lakukan analisis terhadap material campuran beton aspal, terlihat bahwa semua material yang di uji memenuhi kriteria standart spesifikasi yang telah di isyaratkan yaitu **Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 2010 Perkerasan Aspal**. Sehingga hasil yang di peroleh tidak melenceng dari syarat yang telah di tentukan.

2. Penambahan kadar serbuk Crumb Rubber pada campuran beton aspal cenderung meningkatkan nilai Stabilitas, Marshall Quotient, dan Rongga Terisi Aspal/VFB.

a. Stabilitas

Berdasarkan hasil penelitian dari setiap campuran beton aspal, ternyata penambahan kadar serbuk Crumb Rubber dari 0% sampai 4% akan meningkatkan nilai stabilitas suatu campuran dari 813,2 kg sampai dengan 1025,7 kg, akan tetapi penambahan serbuk Crumb Rubber yang lebih lanjut dari 4% sampai dengan 10% akan menurunkan nilai stabilitas campuran beton aspal dari 813,2 kg menjadi 1025,7 kg. Hal ini di mungkinkan dengan penambahan serbuk Crumb Rubber yang berlebihan akan menambah sifat kegetasan dari suatu campuran.

b. Marshall Quotient

Berdasarkan data hasil penelitian penambahan serbuk Crumb Rubber dari 0% sampai dengan 10% akan meningkatkan nilai Marshall quotient dari 279,94 (kg/ml) menjadi 353,87(kg/ml). Hal ini di mungkinkan dengan penambahan serbuk Crumb Rubber akan menambah kekakuan dari campuran.

c. Rongga Terisi Aspal

Data dari hasil penelitian menunjukan dengan penambahan serbuk Crumb Rubber dari 0% sampai dengan 10% di peroleh penambahan rongga terisi aspal dari 79,47% menjadi 80,01%. Hal ini di mungkinkan dengan penambahan serbuk

Crumb Rubber, cairan aspal yang memasuki rongga dalam campuran akan bertambah.

3. Selain itu penambahan serbuk Crumb Rubber juga berpengaruh terhadap nilai Flow dan VIM. Dengan penambahan kadar serbuk Crumb Rubber nilai parameter tersebut di atas mempunyai kecenderungan menurun.

a. Flow

Dari hasil data flow, memberikan gambaran bahwa dengan semakin bertambahnya kadar serbuk Crumb Rubber dari 0% sampai dengan 10%, maka akan di peroleh penurunan harga flow dari 3,23 (mm) menjadi 2,73 (mm). Hal ini di mungkinkan dengan penambahan serbuk Crumb Rubber maka akan menambah kekakuan dari campuran

b. Void in Mixture (VIM)/ Rongga dalam campuran

Dari hasil penelitian yang di lakukan di peroleh hasil data adanya penurunan nilai VIM dari 3,563% menjadi 3,425% seiring dengan bertambahnya kadar serbuk Crumb Rubber dari 0% sampai dengan 10%. Hal ini di mungkinkan dengan penambahan serbuk Crumb Rubber, rongga yang ada dalam campuran semakin banyak terisi campuran aspal + serbuk *Crumb Rubber*.

4. Pada uji hipotesa terlihat bahwa stabilitas campuran pada masing-masing kadar serbuk Crumb Rubber sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% berbeda secara nyata dimana nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini membuktikan bahwa H_0 di tolak dan H_a diterima. Pada analisis regresi di dapat nilai stabilitas yang optimum sebesar 1031,357kg dengan kadar serbuk Crumb Rubber dalam aspal 5,431%

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Tujuan obyektif yang hendak di capai pada penelitian ini, adalah evaluasi terhadap penggunaan Crumb Rubber yang di pakai sebagai bahan additive aspal. Pemberian bahan additive pada aspal setelah tercapai kadar aspal optimum dan pemberian bahan additive tersebut tidak mengurangi berat total aspal itu sendiri. Berdasarkan hasil penelitian di dapatkan hasil sebagai berikut :

1. Kadar serbuk Crumb Rubber yang terlalu sedikit ataupun terlalu banyak dapat menurunkan nilai stabilitas dari campuran tersebut, hal ini dapat terlihat pada tabel 5.29 dan Grafik 5.11. Dan juga berpengaruh pada nilai flow, pada penambahan serbuk Crumb Rubber menghasilkan penurunan nilai flow. Hal ini di mungkinkan dengan penambahan serbuk Crumb Rubber pada campuran dapat mengakibatkan campuran aspal menjadi lebih kaku.
2. Nilai kadar serbuk *Crumb Rubber* optimum yang di peroleh dari data hasil penelitian adalah 5,73% dari berat aspal untuk campuran beton aspal dengan filler abu sekam padi.
3. Menurut data hasil penelitian penambahan serbuk Crumb Rubber 4% dari berat aspal campuran beton aspal dengan filler abu sekam padi di peroleh nilai stabilitas 1070,4 kg dan nilai stabilitas tanpa penggunaan serbuk Crumb Rubber sebesar 883,5kg. Dan nilai karakteristik Marshall lainnya memenuhi **Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 2010 Perkerasan Aspal**. Jadi dapat di ambil suatu kesimpulan bahwa dengan adanya penambahan serbuk Crumb Rubber dapat menaikkan stabilitas optimum, sekaligus berpotensi di gunakan dalam pembangunan jalan perkerasan laston.

Data pengujian lainnya sebagai pembandingan :

Sifat- Sifat Campuran		Laston		
		WC	BC	Base
Jumlah tumbukan perbidang		75		112
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	Min	3,5		
	Max	5,5		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (VFB) (%)	Min	65	63	60
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1500
	Max	-		-
Pelelehan (flow) (mm)	Min	3		5
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250		300
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60° pada VIM 7%	Min	80		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2,5		

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum-Desember 2007

Kadar <i>Crumb Rubber</i>	Stabilitas	Flow	VIM	VMA	MQ	VFB
0%	883,47	3,23	3,629	17,32	300,77	79,04
2%	1007,73	3,12	3,581	17,31	324,04	79,26
4%	1070,40	3,04	3,550	17,31	353,79	79,42
6%	1053,15	2,96	3,540	17,28	362,03	79,46
8%	1020,96	2,74	3,482	17,23	376,47	79,74
10%	986,52	2,73	3,471	17,22	363,60	79,79

4. Untuk nilai indeks perendaman pada penelitian ini di dapat nilai indeks perendaman rata-rata sebesar 95,418%. Jadi dapat di ambil kesimpulan ternyata campuran beton aspal di tambah dengan serbuk *Crumb Rubber* akan memiliki durabilitas/ketahanan yang tinggi. Hal ini di tunjukkan dengan nilai indeks perendaman yang lebih besar dari 90%.

6.2 Saran-saran

Berdasarkan pengamatan penulis selama penelitian dan evaluasi serta analisis yang di lakukan, maka agar penelitian lebih akurat dan komprehensif, perlu di lakukan hal-hal sebagai berikut :

1. Perlu di lakukan penelitian dengan mengurangi ketebalan pada campuran dan di bandingkan, misalnya dengan membuat mix design untuk campuran dengan tinggi rata-rata ± 4 cm.
2. Perlu di adakan penelitian untuk meneliti kadar aspal yang tidak optimum dan bisa di campurkan dengan serbuk Crumb Rubber karena di dalam penelitian ini kami mengasumsikan kadar aspal optimumlah yang paling baik untuk di campur dengan Crumb Rubber,
3. Penelitian terhadap pencampuran Crumb Rubber sebagai bahan substitusi campuran,
4. Penelitian terhadap karakteristik campuran yang lebih bervariasi, misalnya membandingkan antara campuran AC, HRS, atau ATB.
5. Penelitian terhadap karakteristik campuran beton aspal, dalam penggunaan aspal di coba dengan aspal yang lebih bervariasi, misalnya membandingkan antara penetrasi 60/70 dengan aspal penetrasi 80/100.
6. Sebagai perbandingan perlu di lakukan uji perendaman Marshall dengan lama perendaman lebih dari 24 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Eko Supriyanto. 1999. “ Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Bekas dengan *Filler Fly Ash*”. Skripsi. Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional
- Paravita Sri Wuandari. 2017. “ Use of crumb rubber as additive in asphalt concrete mixture”. SCESCM 2017, *Petra Christian University*, Surabaya
- Junianti. 2015. “ Pengaruh Kombinasi Abu Sekam Padi dan Semen Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Marshall Campuran Lapis Aspal Beton”. Skripsi. FT, Universitas Atmajaya Jogjakarta
- Raden Hendra Ariyapijati. 2017. “Contributions crumb rubber in hot mix asphalt to the resilient modulus”.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementrian Pekerjaan Umum, 2010. Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 (Revisi) Perkerasan Aspal., Jakarta.
- Silvia Sukirman. 1995. “ Perkerasan Lentur Jalan Raya “
- Standar Nasional Indonesia. 1990. Standar Pemeriksaan Agregat
- Standar Nasional Indonesia. 1991. Standar Pemeriksaan Aspal
- Hartono. 2007. “ Statistik Untuk Penelitian”. Buku Pembelajaran

LAMPIRAN

Pengambilan Agregat dan Aspal



Pengujian Agregat



Pengujian Aspal



Proses Pemasakan Aspal



Pembuatan Benda Uji AC-WC tanpa Serat Ijuk





Pengujian Tes Marshall



Pembuatan benda Uji AC-WC dengan Penambahan Serat Ijuk





FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG PENELITIAN (ASPAK)

Nama : REYNALDI DARMAWAN SEND LINEE

NIM : 1321100

Hari / tanggal : Rabu, 07-02-2018

Perbaikan materi Skripsi meliputi :

- Format abstrak : - Spasi
- Kata kunci
- Kesimpulan no 3. → format/tulisan tabel.
tbb perlu.
- Kesimpulan no 4 → perbaikan

Perbaikan Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian dilaksanakan. Bila melebihi masa 14 hari, maka tidak dapat diikuti Yudisium.

Malang, 7 - 2 - 2018.

Dosen Penguji

(A. Agus Santosa)

Tugas Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 27 - 2 - 2018.

Dosen Penguji

(A. Agus Santosa)



FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG PENELITIAN (MATERIAL ASPAL).

Nama : REYNALDI DARMAWAN SENOLINGGI

NIM : 1321.100

Hari / tanggal : Rabu, 07-02-2018

Perbaikan materi Skripsi meliputi :

- 1/ Tata tulis skripsi, blm sesuai ~~✓~~
- 2/ Abstrak blm sesuai, cara penulisan ~~✓~~
- 3/ Isi skripsi, banyak kertas kosong ~~✓~~
- 4/ Excel → Log ada di skripsi, bakijs ~~✓~~
lemparan
- 5/ pustaka ~~✓~~
- 6/ letak catatan pd Naskah ~~✓~~
- 7/ Kertas di pemb 1 dan 2, dan para ~~✓~~
klu sdh di kemas ~~✓~~

Perbaikan Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian dilaksanakan. Bila melebihi masa 14 hari, maka tidak dapat diikuti Yudisium.

Malang, 7 Feb 2018
Dosen Penguji

Hatunur
(1081)

Tugas Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 1 Maret 2018
Dosen Penguji

Hatunur
(Togi Hat.)